



**Ana Rita Lopes Ferreira**

Licenciada em Engenharia Geológica

**Efeito de *background* local e assinatura geoquímica de  
anomalias naturais em sedimentos de corrente  
e solos – aplicação à área envolvente do  
jazigo de urânio (Nisa, Portugal)**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica

Orientador: Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa, Prof. Auxiliar – FCT/UNL

Co-orientador: Doutor José António de Almeida, Prof. Associado – FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão

Arguente: Prof. Doutor Alcides José Sousa Castilho Pereira

Vogal: Prof. Doutora Sofia Verónica Trindade Barbosa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2015**



**Efeito de *background* local e assinatura geoquímica de anomalias naturais em sedimentos de corrente e solos – aplicação à área envolvente do jazigo de urânio (Nisa, Portugal)**

“© Copyright” Ana Rita Lopes Ferreira, FTC/UNL e UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

As minhas primeiras palavras de agradecimento vão para os orientadores científicos desta dissertação, Professora Doutora Sofia Barbosa e Professor Doutor José António de Almeida.

À Professora Doutora Sofia Barbosa gostaria de começar por agradecer a proposta do tema de tese e por a sua contínua orientação e sabedoria que me tem vindo a transmitir ao longo deste percurso. Expresso aqui a minha gratidão pela sua disponibilidade e por todas as suas ideias para o enriquecimento deste trabalho, pelo apoio e paciência ao longo desta etapa.

Ao Professor Doutor José António de Almeida por ter aceitado ser meu co-orientador, pela sua disponibilidade e apoio nas minhas constantes dúvidas. Pelo exemplo de profissional e pelo imenso conhecimento que me incentiva a aprender sempre mais.

Ao Doutor António Borges Alves de Campos pela disponibilidade que demonstrou na recolha de dados para este trabalho.

Ao Professor Doutor João Cruz e ao Departamento de Física da FCT –UNL pela possibilidade e disponibilidade na realização de uma análise nas suas instalações.

Devo também um agradecimento a todos os que fizeram parte do meu percurso académico: aos docentes do DCT, que contribuíram para a minha formação profissional e aos colegas que me acompanharam neste percurso e permitiram que os anos da faculdade fossem muito mais que uma formação. Um obrigado especial à Ana Ramada, Catarina Fernandes, David Silva, João Miranda, Mariana Pinto, Raul Conceição, Soraia Botelho e Yucânia Cruz por toda a amizade e entajuda, sem eles este percurso não teria sido igual.

Ao João Ferreira pelos momentos de apoio incondicionais, pela paciência e motivação e por acreditar sempre em mim e nunca me deixar desistir. Muito obrigada por todo o amor e carinho ao longo destes anos.

À minha família. À minha irmã e avós por terem sempre uma palavra carinhosa a dar e por me encorajarem a ser sempre melhor.

A todos que de algum modo contribuíram para a realização do presente trabalho.

Por último, um grande obrigado aos meus pais pelo apoio, motivação e compreensão em todos os momentos, mesmo nas alturas mais difíceis e porque sem eles nada disto seria possível.



## RESUMO

Na região de Nisa, concelho de Portalegre, situa-se um dos maiores e mais relevantes jazigos de urânio alguma vez descoberto em território nacional. Trata-se de um jazigo ainda inexplorado que encerra um potencial estimado em cerca de 32 milhões de toneladas de minério *tal qual*. Este jazigo ocorre à superfície e encontra-se em contexto metassedimentar embutido em xistos mosqueados, pertencentes ao Grupo das Beiras, nas proximidades do contacto com o granito do Maciço de Nisa.

Este trabalho tem como objetivo estudar de forma qualitativa e quantitativa a dispersão geoquímica provocada por processos naturais de erosão e de transporte hidrogravítico na envolvente à anomalia geoquímica natural localmente induzida por este jazigo. Para o efeito estabeleceu-se uma metodologia com as seguintes etapas principais: (1) georreferenciação em SIG de elementos de cartografia; (2) planeamento e elaboração do plano de amostragem; (3) recolha e tratamento de amostras de solos e sedimentos; (4) ensaios não destrutivos de medição de radiação gama por SPP2 e determinações analíticas por XRF; (5) análise exploratória e tratamento estatístico de dados e análise espacial; (6) análise de resultados; (7) definição de teores geoquímicos de fundo local.

As amostras de sedimentos foram retiradas de uma ribeira que intersecta a área da anomalia e alimenta uma barragem local de enrocamento; as amostras de solos foram retiradas de linhas de amostragem perpendiculares à ribeira. As determinações analíticas registaram os teores em diversos metais, como o urânio, crómio, molibdénio, nióbio, vanádio e zinco e do semimetal arsénio.

Com exceção do zinco, os resultados evidenciam que as concentrações naturais nestes metais no local onde se localiza uma importante jazida de minérios de urânio são muito elevados, e quando comparados com os valores *standard* da norma Canadiana mostram poder existir risco para a saúde se não forem limitados os usos do local.

**Palavras-chave:** fundo geoquímico natural de jazigo de urânio; anomalias geoquímicas naturais (U-Nb-Mo) (Zn); análise estatística; valores de referência em solos e sedimentos .





## ABSTRACT

In the region of Nisa, Portalegre district, is located one of the largest and most important untapped Uranium deposits ever discovered in the country, it's potential being estimated at about 32 million tonnes of un-treated ore. This deposit shows superficial character and is found in metasedimentary context embedded in mottled shale which belongs to the Beiras Group near the contact with the granite of Nisa Massif.

This work is designed to study qualitatively and quantitatively the effects that occur due to the geochemical dispersion caused by the natural processes of erosion and hidrogravity transport in the surrounding natural geochemical anomaly, locally induced by this deposit. For this purpose it was established a methodology with the following main steps: (1) georeferencing in a GIS of cartography elements; (2) planning and preparing the sampling campaign; (3) collecting and treating of soil and sediment samples; (4) non-destructive assay of gamma radiation measurement by SPP2 and analytical determinations by XRF; (5) exploratory analysis and statistical data treatment and spatial analysis; (6) analysis of data results; (7) definition of background's geochemical levels.

The sediment samples were taken from a river which intersects the area of the anomaly and feeds a local dam rockfill; the soil samples were taken from sample lines perpendicular to the river. The analytical determinations recorded the concentrations of several metals, such as uranium, chromium, molybdenum, niobium, vanadium and zinc and semi-metal arsenic.

With the exception of zinc, the results show that natural concentrations of these metals in the area, which is a major uranium deposit, are very high and compared with the standard values of the Canadian regulation, it shows there may be a health risk if local uses will not be restricted.

**Key-words:** natural geochemical background of an uranium deposit; natural geochemical anomalies (U-Nb-Mo) (Zn); statistical analysis; reference values in soils and sediments



# ÍNDICE DE MATÉRIAS

<b>1.</b>	<b>ENQUADRAMENTO E RELEVÂNCIA DO TEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1	Situação de Referência Sobre a Geoquímica dos Solos e Sedimentos - Casos de Anomalias Naturais Locais e Regionais.....	1
1.2	Estado de Arte .....	2
<b>2.</b>	<b>ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO-NISA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Localização .....	5
2.2	Enquadramento Climatológico, Hidrológico e Geomorfológico.....	6
2.3	Enquadramento Geotectónico- Geológico .....	8
2.4	Anomalias Naturais Locais e Níveis de Radiação e de Radão na Área do Jazigo de Monte Claro-Nisa .....	11
2.5	Mineralogia, Geoquímica e Teores do Jazigo .....	16
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1	Metodologia .....	19
3.2	Plano de Amostragem .....	19
3.2.1	Procedimento para a Seleção de Locais a Amostrar .....	19
3.2.2	Recolha de Amostras, Transporte e Armazenamento .....	20
3.2.3	Parâmetros para Interpretação de Dados .....	21
3.2.4	Ensaio Não Destrutivo .....	21
3.2.4.1	Cintilometria de Raios Gama.....	21
3.2.4.2	Análise de Fluorescência de Raios X.....	22
3.3	Ferramentas de Análise Estatística.....	23
3.3.1	Análise Uni e Bivariada .....	23
3.3.2	Análise Multivariada .....	24
3.4	Programas Informáticos Utilizados.....	25

<b>4.</b>	<b>CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>27</b>
4.1	Estruturação do Plano de Amostragem e Recolha das Amostras .....	27
4.2	Protocolo de Preparação e Análise das Amostras de Solos e Sedimentos .....	29
4.3	Radiação Gama por Cintilometria Medida <i>in situ</i> e em Laboratório.....	31
4.4	Geoquímica de Sedimentos de Corrente e Solos.....	34
4.4.1	Análise Estatística Univariada .....	35
4.4.2	Análise Estatística Bivariada .....	42
4.4.3	ACP e Interpretação das Associações Encontradas.....	48
4.5	Análise da Distribuição Espacial dos Teores .....	58
4.6	Comparação dos Resultados Obtidos na Envolvente à Anomalia Natural com os Valores de Referência Presentes na Norma de Ontário 2011 .....	65
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Enquadramento do município de Nisa a nível Nacional, e cartas Geológicas; adaptado de Câmara Municipal de Nisa, Gabinete de Planeamento. ....	5
Figura 2.2- Ortofoto da área de estudo (2012) com identificação da escombreira e desmonte experimental. ....	6
Figura 2.3- Altimetria da área em estudo e informação estrutural: rede viária, hidrografia, desmonte experimental, escombreira e albufeira. ....	7
Figura 2.4- As 5 regiões tectono-estratigráfica do território continental português; Fonte: Duarte & Bento dos Santos, 2010. ....	8
Figura 2.5- Carta geológica da região de Nisa – Monte Claro e informação estrutural: de hidrografia, desmonte experimental, escombreira e albufeira; adaptado de Alves dos Campos (2002). ....	10
Figura 2.6- Fontes de radiação a que a população dos E.U.A. está exposta; Fonte: Alves de Campos (2002). ....	12
Figura 2.7- Carta aeroradiométrica de contagens totais, região de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002. ....	13
Figura 2.8- Carta aeroradiométrica de espectrometria gama de urânio, região de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002. ....	13
Figura 2.9- Enquadramento geológico e radiometria na área do jazigo de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002. ....	14
Figura 2.10-Mapa de distribuição dos dados de SPP2 na área de Nisa e cartografia das escombreyas e antigas estruturas projetadas para apoio à mina; Fonte: Prazeres, 2011. ....	15
Figura 3.1- Principais etapas da metodologia adotada para o presente estudo. ....	19
Figura 3.2- Cintilómetro de contagem total de SPP2 da <i>Saphymo- PHY</i> ; Fonte: <a href="http://www.saphymo.com">www.saphymo.com</a> , Consultado em Abril de 2015. ....	22
Figura 3.3- <i>Thermo Scientific Niton XL3p x-ray</i> ; Fonte: <a href="http://www.niton.com">www.niton.com</a> , Consultado em Abril de 2015. ....	23
Figura 4.1 – Fotografia aérea da zona em estudo com marcação dos locais com medição de radiometria e onde houve recolha de amostras, fotografias da figura 4.2 e hidrografia. ....	27
Figura 4.2- Duas vistas do troço da ribeira: a) Vista para NW; b) Vista Para SW. ....	28
Figura 4.3- Local amostrado sinalizado a vermelho, cintilómetro SPP2 e equipamento GPS. ....	28
Figura 4.4- Material retido no peneiro 2mm. ....	29
Figura 4.5- Almofariz utilizado para proceder à desagregação. ....	29
Figura 4.6- Porção da amostra com granulometria superior a 2 mm. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.7- Porção da amostra com granulometria inferior a 2mm.....	29
Figura 4.8- Coluna de separação granulométrica no agitador.....	30
Figura 4.9- Representação da radiação gama (campo total) em cps medida ao longo da ribeira, tanto para os locais das amostras de solos e sedimentos e informação estruturante de hidrografia, escombreira e desmonte experimental. ....	31
Figura 4.10- Radiação gama medidas <i>in situ</i> e em laboratório com escala logarítmica de base 10 integrando amostras de sedimentos e solos.....	33
Figura 4.11- Correlação da radiação gama medida <i>in situ</i> e no laboratório. ....	33
Figura 4.12- Correlação entre a radiação gama, medida <i>in situ</i> e em laboratório, com teor em urânio.....	34
Figura 4.13- Histograma do U com a totalidade de amostras.....	35
Figura 4.14- Histograma do U sem a amostra 27. ....	35
Figura 4.15- Histograma do As com a totalidade de amostras. ....	36
Figura 4.16- Histograma do As sem a amostra 27. ....	36
Figura 4.17- Histograma do Cr com a totalidade de amostras. ....	36
Figura 4.18- Histograma do Cr sem a amostra 27.....	36
Figura 4.19- Histograma do Mo com a totalidade de amostras. ....	36
Figura 4.20- Histograma do Mo sem a amostra 27.....	36
Figura 4.21- Histograma do Nb com a totalidade de amostras.....	37
Figura 4.22- Histograma do Nb sem a amostra 27. ....	37
Figura 4.23- Histograma do V com a totalidade de amostras.....	37
Figura 4.24- Histograma do V sem a amostra 27. ....	37
Figura 4.25- Histograma do Zn com a totalidade de amostras. ....	37
Figura 4.26- Histograma do Zn sem a amostra 27. ....	37
Figura 4.27- <i>Box-plot</i> do U por frações granulométricas com a totalidade de amostras. ....	39
Figura 4.28- <i>Box-plot</i> do U por frações granulométricas sem amostra 27. ....	39
Figura 4.29- <i>Box-plot</i> do As por frações granulométricas com a totalidade de amostras. ....	40
Figura 4.30- <i>Box-plot</i> do As por frações granulométricas sem amostra 27.....	40
Figura 4.31- <i>Box-plot</i> do Cr por frações granulométricas com a totalidade de amostras.....	40
Figura 4.32- <i>Box-plot</i> do Cr por frações granulométricas sem amostra 27. ....	40
Figura 4.33- <i>Box-plot</i> do Mo por frações granulométricas com a totalidade de amostras. ....	40

Figura 4.34- <i>Box-plot</i> do Mo por frações.....	40
Figura 4.35- <i>Box-plot</i> do Nb por frações granulométricas com a totalidade de amostras.....	41
Figura 4.36- <i>Box-plot</i> do Nb por frações granulométricas sem amostra 27. ....	41
Figura 4.37- <i>Box-plot</i> do V por frações granulométricas com a totalidade de amostras. ....	41
Figura 4.38- <i>Box-plot</i> do V por frações granulométricas sem amostra 27.....	41
Figura 4.39- <i>Box-plot</i> do Zn por frações granulométricas com a totalidade de amostras. ....	41
Figura 4.40- <i>Box-plot</i> do Zn por frações granulométricas sem amostra 27.....	41
Figura 4.41- Matriz de diagramas de dispersão entre os elementos U, As, Cr, Mo, Nb, V e Zn.....	44
Figura 4.42- Diagramas de dispersão das correlações entre U-Mo, U-Nb, Mo-Nb, Zn-U, Zn-Mo, Zn-Nb com a totalidade das amostras. ....	45
Figura 4.43- Diagramas de dispersão das correlações entre U-Mo, U-Nb, Mo-Nb, Zn-U, Zn-Mo, Zn-Nb sem a amostra 27.....	47
Figura 4.44- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos F1 e F2.....	50
Figura 4.45- Projeção das observações separadas por solos e sedimentos no 1º plano fatorial da ACP, F1 e F2. ....	50
Figura 4.46- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27, com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.....	52
Figura 4.47- Projeção das variáveis no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.....	52
Figura 4.48- Projeção das observações no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27, CP1 e CP2....	53
Figura 4.49- Projeção das observações no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27, CP1 e CP2....	53
Figura 4.50- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.....	55
Figura 4.51- Projeção das variáveis no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.....	56
Figura 4.52- Projeção das observações no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e separadas por classes granulométricas, CP1 e CP2.....	56
Figura 4.53- Projeção das observações no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e separadas por classe granulométrica, CP1 e CP2. ....	57
Figura 4.54- Classes de concentrações dos elementos U, Nb e Mo nas amostras recolhidas em solos e sedimentos na área de estudo. ....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.55- Concentração de teores no elemento As em 4 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.....	59
Figura 4.56- Concentração de teores no elemento Cr em 3 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.....	59
Figura 4.57- Concentração de teores no elemento V em 4 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.....	60
Figura 4.58- Concentração de teores no elemento Zn em 4 classes nas amostras de solos e 3 classes nas amostras de sedimentos na área em estudo. ....	60
Figura 4.59- Representação dos teores em U medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira com identificação do local de desmonte experimental (DE) e escombreira (E).....	61
Figura 4.60- Representação dos teores em As medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	62
Figura 4.61- Representação dos teores em Cr medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	62
Figura 4.62- Representação dos teores em Mo medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	62
Figura 4.63- Representação dos teores em Nb medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	63
Figura 4.64- Representação dos teores em V medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	63
Figura 4.65- Representação dos teores em Zn medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira. ....	63



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Principais tipos de jazigos de urânio no Mundo; adaptado de Moura & Velho (2011). ....	16
Tabela 3.1- Intervalos dos <i>outliers</i> de 1ª e 2ª ordem a esquerda e à direita construídos a partir dos quartis. ....	24
Tabela 4.1- Medições de radiação gama. ....	32
Tabela 4.2- Correlação entre a radiação gama e os teores em U. ....	34
Tabela 4.3- Quadro resumo dos estatísticos básicos de posição central, dispersão e assimetria. ....	38
Tabela 4.4- Medidas de Assimetria dos dados sem a amostra 27. ....	38
Tabela 4.5- Matriz de correlação dos 7 elementos de interesse e legenda. ....	43
Tabela 4.6- Matriz de correlação dos elementos de interesse sem amostra 27 e legenda. ....	46
Tabela 4.7- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP com 7 CP, valores próprios, percentagem explicação e percentagem acumulada. ....	48
Tabela 4.8- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de <i>Pearson</i> ) correlação entre os eixos e os elementos químicos. ....	49
Tabela 4.9- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP com 7 CP, valores próprios, percentagem explicativa e acumulada, sem a amostra 27. ....	51
Tabela 4.10- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de <i>Pearson</i> ) correlação entre os eixos e os elementos químicos sem a amostra 27. ....	51
Tabela 4.11- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP sem a amostra 27 e com separação por granulometrias com 7 CP, valores próprios, percentagem explicativa e acumulada. ..	54
Tabela 4.12- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de <i>Pearson</i> ) correlação entre os eixos e os elementos químicos sem a amostra 27 e com separação por granulometrias. ....	55
Tabela 4.13- Categorização dos valores de teor em U, Mo e Nb. ....	58
Tabela 4.14- Condições de <i>background local standard</i> (norma Ontário) versus valores obtidos na área de estudo. ....	66



# 1. ENQUADRAMENTO E RELEVÂNCIA DO TEMA

## 1.1 SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA SOBRE A GEOQUÍMICA DOS SOLOS E SEDIMENTOS - CASOS DE ANOMALIAS NATURAIS LOCAIS E REGIONAIS

Não obstante a sua reduzida dimensão, Portugal Continental possui ampla diversidade em termos geológicos e Províncias Metalogenéticas, da qual resulta uma indiscutível e relevante base de recursos e importante panóplia de possibilidades e potenciais, passíveis de interesse em termos económicos (Barbosa, 2014).

Na sequência de muitos e variados enquadramentos geológicos, verificam-se no nosso território especificidades geoquímicas, que se expressam a nível local e regional por anomalias naturais de origem não antrópica, cujas magnitudes e efeitos devem ser ponderados e tidos em consideração no ordenamento do território e em processos de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) e de descontaminação de sítios (Barbosa, 2014).

Considere-se o exemplo do que poderá resultar de um processo de caracterização geoambiental, na envolvente a área mineira, sempre sujeita, *per si*, a efeitos de anomalias geoquímicas, de origem não antrópica e magnitude variáveis, resultantes da história geológica do local e regional. Com efeito, o desenvolvimento de atuações de descontaminação de sítios em que a natureza geoquímica *per si* da área e respetiva envolvente seja menosprezada em detrimento de regras e leis ditadas por valores fixos, tabelados, rígidos e tidos como absolutos, poderá resultar, conforme referido por Barbosa (2014), em interpretações e ações desproporcionadas face à realidade e natureza composicional dos terrenos, conduzindo a deturpações, desvios e sobrevalorizações dos processos de recuperação de passivos ambientais. Ainda de acordo com o mesmo autor, a esta realidade, acresce ainda que, para além do elemento potencialmente contaminante em si, a forma de ocorrência mineralógica e o enquadramento geoquímico do meio irão influenciar o transporte e comportamento deste mesmo elemento como real e efetivo contaminante.

Considerando a pertinência e relevância societal do tema em questão, selecionou-se uma área de estudo, inequívoca e comprovadamente dotada de relevante anomalia natural, conhecida a nível mundial pelas suas reservas demonstradas, certas e prováveis, em Urânio: o jazigo de Monte Claro situado na área de Nisa, concelho de Portalegre (Portugal Continental).

O trabalho desenvolvido no âmbito da presente Tese de Mestrado pretende ser um exemplo e contributo para melhor entendimento e compreensão dos efeitos que incorrem em virtude dos processos naturais de erosão e de transporte hidrogravítico em sedimentos de corrente e solos da envolvente a uma anomalia geoquímica natural e na ausência de atividade mineira. A variação local da magnitude nas concentrações em diversos metais, e as variações em termos de dispersão espacial, na envolvente à anomalia de Monte Claro-Nisa constituíram, assim, os aspetos estudados e analisados.

Neste trabalho verificou-se a existência de concentrações anómalas em diversos metais, como o Urânio, Zinco, Crómio, Vanádio, Nióbio e Molibdénio, e do semi-metal Arsénio, que surgem na envolvente ao jazigo de Monte Claro-Nisa, na sequência de processos naturais de erosão e de

transporte hidrográvítico, não diretamente relacionáveis com uma exploração mineira ou alguma outra possível causa de contaminação com origem antrópica. Tais concentrações anômalas são devidas a um efeito de anomalia nos *backgrounds* locais e regionais sendo que as concentrações parecem variar de acordo com o percurso da linha de água que intersecta a área.

### 1.2 ESTADO DE ARTE

O termo “fundo geoquímico” (*geochemical background*) teve origem na prospeção geoquímica, para distinguir entre a concentração de elementos ou compostos ocorrentes numa matriz de rocha desprovida de enriquecimentos e as concentrações desses mesmos elementos em locais onde a rocha ostenta anomalias positivas, funcionando este incremento de concentração, como um potencial indicador de ocorrência de mineralização.

Atualmente, com o aumento da consciência ambiental, e com um número crescente de investigações relacionadas com poluentes para atmosfera, água, solo e sedimentos, este termo e, sobretudo, o designado “fundo geoquímico natural” (*natural geochemical background*) são consideradas referências importantes (Matschullat, et al. 2000). Refira-se, neste contexto, a título exemplificativo da expressão de tal nível de importância, o caso do “EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group (GEEG)”, cujo objetivo primordial é o da produção de bases de dados geoquímicas multi-elementares, de alta qualidade, respeitantes a todos os materiais constituintes da crosta, utilizáveis em todos os domínios da ciência e da sociedade em geral. Este Grupo considera que tais bases de dados, sendo essenciais à sociedade, devem ser de acesso público para poderem ser usadas na produção de relatórios ambientais, prospeção de depósitos minerais, produção florestal, agrícola e animal, geologia médica e na determinação dos valores geoquímicos de *background* naturais. A informação constante na base de dados deve ser tida em consideração em análises de risco ambiental e em cálculos de efeitos de dose acumulada por exposição a um dado elemento químico.

Hawkes & Webb (1962) definem *background* como a abundância natural de um elemento químico em material estéril sendo que o mesmo abrange um conjunto de valores (média  $\pm$  2 desvio padrão) que não corresponde necessariamente a valores de baixas concentrações. Do ponto de vista geoquímico, o termo *background* é equivalente à ausência de uma anomalia. Por definição, uma anomalia corresponde a um desvio da norma (Reimann & Garrett, 2005). Assim, uma anomalia geoquímica consiste num desvio dos padrões geoquímicos que são normais para uma determinada área ou paisagem geoquímica (Hawkes & Webb, 1962).

Para melhor distinguir *background* e anomalia, Garrett (1991) introduziu o conceito de *threshold* (teor de corte) como o limite superior dos valores de *background*. Este valor para além de diferenciar *background* e anomalia, pode ser utilizado para definir níveis de ação, nomeadamente em termos de metas de descontaminação (geoquímica ambiental).

Em Hawkes & Webb (1962) são propostos três procedimentos para o estabelecimento de um teor de corte (*threshold*). O primeiro diz respeito a áreas de ocorrências minerais bem amostradas, onde é

## 1. ENQUADRAMENTO E RELEVÂNCIA DO TEMA

proposta a realização de uma pesquisa de orientação nas proximidades e distanciada da ocorrência mineral e traçar os teores como mapas, com o auxílio de histogramas e/ ou frequências cumulativas selecionando, sem mais conhecimento, o melhor valor que diferencia os dados relacionados com a ocorrência de minério do restante. O segundo procedimento ocorre quando não existe informação, *a priori*, ou quando não se reconhece uma anomalia óbvia e em que os dados seguem uma distribuição geralmente gaussiana. Neste caso, o valor de *threshold* é convencionalmente tomado como a média mais duas vezes o desvio padrão. Por último, quando os conjuntos de dados são pequenos, a melhor aproximação para a determinação do valor de *background* é determinar o valor médio (mediana) e estimar o valor do teor de corte (*threshold*) como o valor que não excede mais de 2.5% do número total de observações (excetuando os valores erráticos acentuadamente elevados). Refira-se que, em geoquímica, tradicionalmente os baixos valores ou baixos *outliers* não são vistos com igual importância quando comparados com os valores altos. Este facto é incorreto pois valores baixos podem indicar zonas de alteração (depleção de certos elementos) relacionados com acumulações minerais nas proximidades (ocorrências) (Reimann, et al. 2005).

Em geoquímica ambiental, o reconhecimento da existência de contaminação é de grande interesse. Segundo Hampel et al. 1986; Barnett & Lewis, 1994, *outliers* são estatisticamente definidos como os valores pertencentes a uma população diferente pois são oriundos de um outro processo ou origem (por exemplo, são derivados de distribuição de um contaminante). Em tal caso, a regra (média  $\pm$  2 desvio padrão) pode não definir um teor de corte relevante. A deteção de valores anómalos (*outliers*) e de comportamento incomum dos dados é uma das principais tarefas na análise estatística dos dados geoquímicos (Reimann et al. 2005).

A expressão *natural background* é amplamente utilizada para quantificar as concentrações que refletem processos naturais não influenciados pelas atividades humanas. Existem casos em que as concentrações naturais elevadas de determinados elementos podem realmente representar um risco para a saúde humana.

A preocupação com os efeitos dos elementos radioativos presentes no meio ambiente na saúde humana tem aumentado nas últimas décadas. A radioatividade no meio ambiente pode ter duas origens: artificial e natural. Radioatividade artificial (resultante de isótopos artificiais) surge a partir de fontes radioativas descartadas, resíduos radioativos e precipitação radioativa. Radioatividade natural, por outro lado, tem fontes geogénicas, principalmente derivadas da ocorrência natural de isótopos radioativos, como por exemplo de urânio, tório e potássio, que estão presentes em minerais das rochas da crosta (Lima, et al. 2005; Reimann & Garrett, 2005).

Nos últimos anos, o mapeamento geoquímico ambiental assumiu importância crescente e a separação dos valores que permitem discriminar entre poluição antropogénica e fontes naturais é provavelmente ainda mais crucial do que a distinção de *background* de anomalias em prospeção geoquímica e exploração mineral. Existe também interesse prático em definir a fronteira entre a concentração de um elemento químico ou um componente que ocorre naturalmente nesses meios, em comparação com as concentrações dos mesmos se resultantes de atividades antrópicas (Matschullat et al. 2000; Plant, et al. 2001; Albanese, et al. 2007).

## CAPÍTULO 1

A amostragem regional de sedimentos de corrente tem sido amplamente utilizada na prospeção geoquímica para identificação de áreas anómalas principalmente nos estágios iniciais de prospeção, pois consiste num método expedito e de baixo custo ( Pazand, et al. 2011; El-Makky & Sediek, 2012; Lusty, et al. 2012). Os sedimentos de corrente são amostras compósitas *per si*, que constituem misturas de materiais líticos que podem apresentar ampla distribuição granulométrica, desde os blocos, a calhaus, passando por areias de diverso calibre a materiais de granulometria mais fina, como siltes e argilas. A composição química, global e por classe granulométrica, fornece informações sobre a hidrodinâmica e a composição litológica da bacia de drenagem, bem como sobre a presença de contaminantes e as características das rochas-mãe de onde os materiais líticos foram erodidos, e nos quais podem ocorrer depósitos minerais de eventual interesse económico (Hawkes & Webb, 1962; Levinson, 1974, 1980; Rose, et al. 1979; Rantitsch, 2000). A natureza complexa dos sedimentos de corrente permite a sua aplicação em geoquímica ambiental e na prospeção, sendo que os mapas resultantes podem apresentar utilidade na definição dos valores de *background* e na delineação de anomalias geoquímicas (Spadoni, 2006). São várias as referências a casos de estudos onde foram realizadas malhas de amostragem densas e que permitiram determinar os efeitos locais de influência antropogénica e as relações entre a composição química dos sedimentos de corrente e a geologia local (Lancianese & Dinelli, 2015).

## 2. ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO-NISA

### 2.1 LOCALIZAÇÃO

A área em estudo localiza-se na província do Alto Alentejo, no distrito de Portalegre, próximo da vila de Nisa (figura 2.1). Os municípios vizinhos são Castelo de Vide, Vila Velha de Rodão, Crato, Gavião e Mação, a Nordeste faz fronteira com Espanha. Nisa está subdividida em 10 freguesias, ocupando uma área total de 574,8 km<sup>2</sup>. A zona a ser analisada está delimitada a Este pela povoação de Nisa e a Oeste pela de Monte Claro e apresenta uma área de cerca de 2,2 ha.

Esta área encontra-se inserida na Folha 28-B – Nisa (Ribeiro et al. 1965) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000.

A área de estudo vai desde o local onde se realizou um desmorte experimental (na zona envolvente do jazigo de Nisa) até uma albufeira de enrocamento local (figura 2.2).

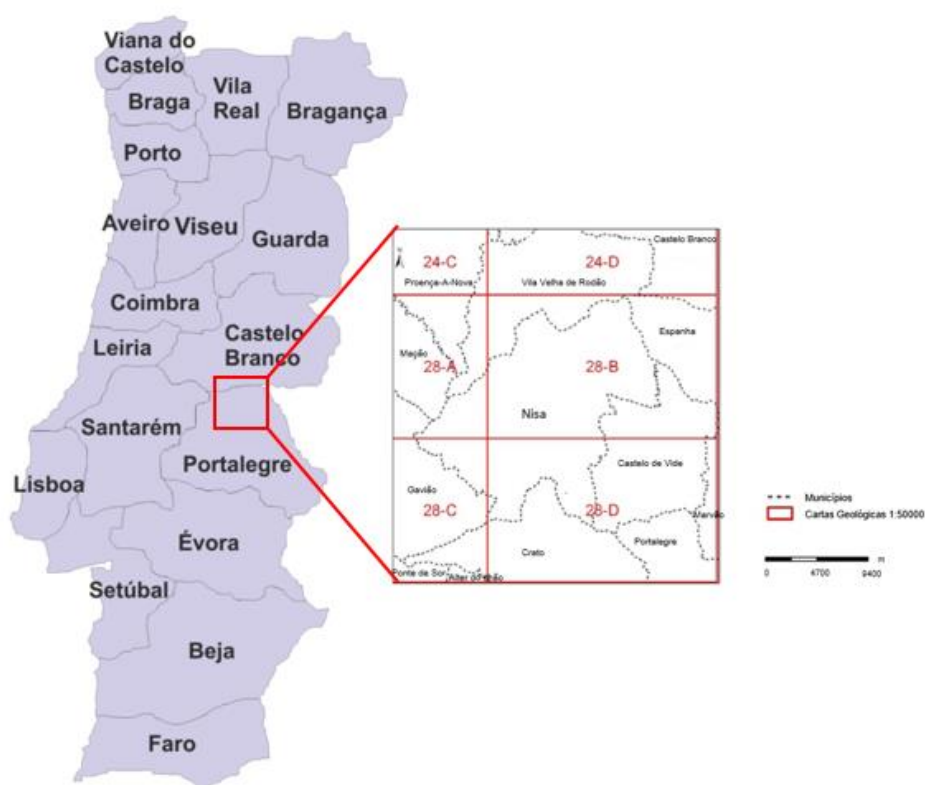


Figura 2.1- Enquadramento do município de Nisa a nível Nacional, e cartas Geológicas; adaptado de Câmara Municipal de Nisa, Gabinete de Planeamento.



Figura 2.2- Ortofoto da área de estudo (2012) com identificação da escombreira e desmorte experimental.

## 2.2 ENQUADRAMENTO CLIMATOLÓGICO, HIDROLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

Foram analisados os valores da temperatura, humidade relativa e precipitação do concelho de Nisa através dos dados obtidos pela Revisão do Plano Diretor Municipal de Nisa de Setembro de 2010 por Martins et al. 2010. Observou-se que a temperatura média diária varia entre 12,5°C e 15°C, sendo que os meses mais frios são janeiro e fevereiro e os mais quentes julho e agosto. A temperatura média anual é de 15,5°C com amplitude térmica de 15°C. A humidade relativa oscila entre 75% e 80% na quase totalidade do concelho, apresentando o valor médio anual de 70%. O mês de janeiro é o mês com maior humidade relativa, com valor médio superior a 80%. Pelo contrário, o mês de agosto corresponde ao mês com menor humidade relativa, com valor médio inferior a 60%. Relativamente à precipitação anual, o concelho de Nisa apresenta valores totais anuais que oscilam entre 700 e 800mm. O número total de dias com precipitação varia entre 50 a 75, e a precipitação média mensal é de 56mm. Verificou-se que 74% da precipitação neste concelho ocorre entre os meses de outubro e março. Julho e agosto são os meses mais quentes e dezembro o mês mais chuvoso.

Sob o ponto de vista geomorfológico, a região estudada é uma área de aplanção denominada de plataforma do Alto Alentejo, peneplanície do Alto Alentejo, ou ainda Superfície de Nisa. Esta plataforma encontra-se bem conservada na zona granítica, em especial na área de Nisa, e está transformada, na zona xistenta, numa sucessão de cumes e vales resultantes da erosão fluvial, sobressaindo a imponente crista quartzítica de Rodão. Esta crista apresenta orientação de NNW-SSE, encontrando-se



## 2.ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

dividida por um fundo vale longitudinal. A Superfície de Nisa inclina suavemente para Este na direção à falha do Ponsul, que a desnivela a norte da superfície de Castelo Branco, (Ribeiro et al. 1965).

O encaixe do Rio Tejo ocorre sobre o soco Paleozoico num vale incisivo por cerca de 30 km onde a presença de terraços é inexistente (Cunha et al. 2005). Como é habitual em regiões de xisto, os afluentes principais do rio Tejo correm em vales profundos e escarpados, desenhando inúmeros meandros (Ribeiro et al. 1965).

A Este da crista quartzítica de Rodão, o vale do Tejo alarga-se em função da soleira de rocha dura. A jusante, por sua vez, existe uma pequena bacia de abatimento onde se conservaram depósitos cenozoicos e de terraço (Ribeiro et al. 1965).

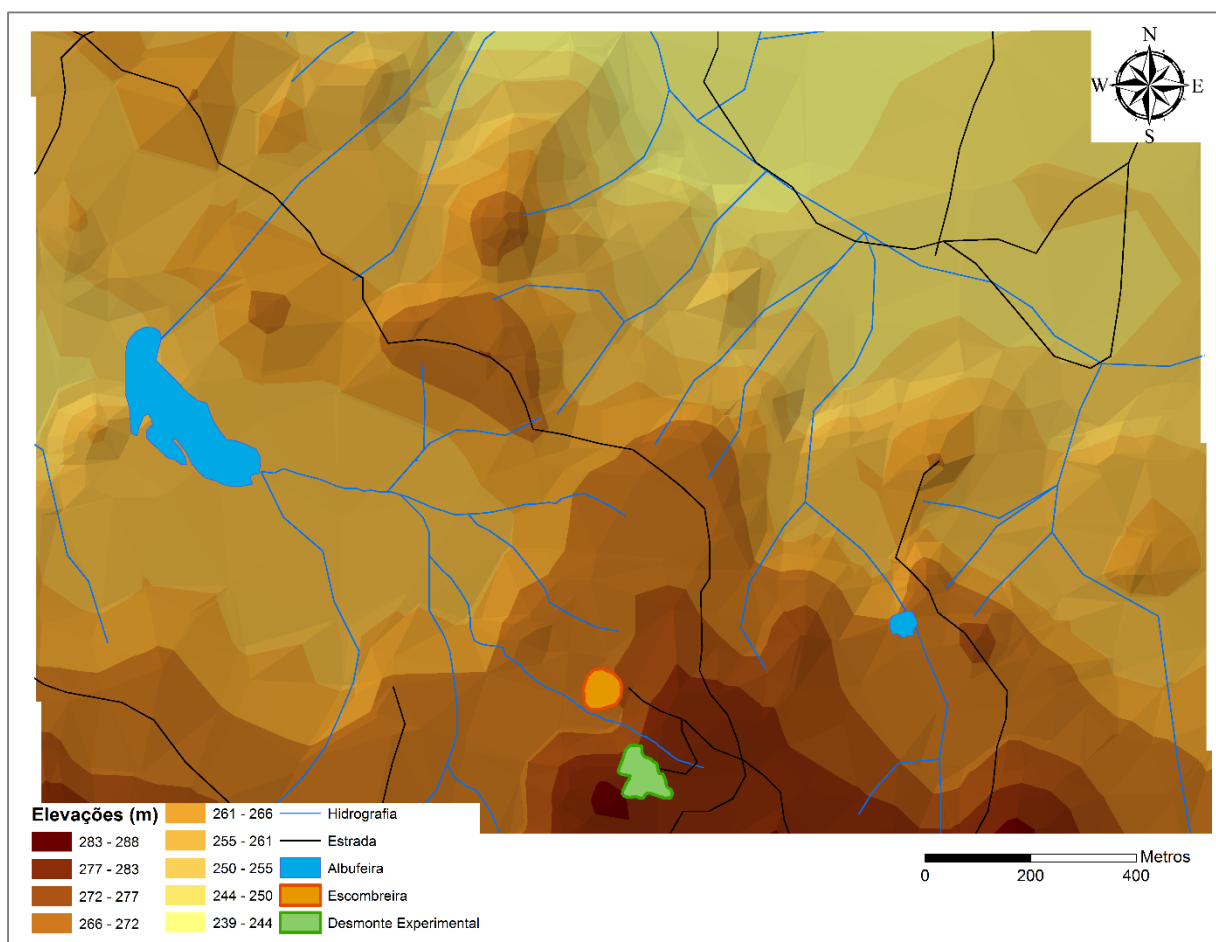


Figura 2.3- Altimetria da área em estudo e informação estrutural: rede viária, hidrografia, desmonte experimental, escombreira e albufeira.

O início do Quaternário foi marcado pelo desenvolvimento de importantes alterações climáticas que levaram à última glaciação. O aumento dos valores de pluviosidade e a existência de glaciares de montanha em degelo no Verão levaram ao encaixe rápido pelo Rio Tejo e maior acarreo sedimentar (Carvalho et al. 2009).

## 2.3 ENQUADRAMENTO GEOTECTÓNICO- GEOLÓGICO

Em termos de evolução tectonoestratigráfica, a região de Nisa enquadra-se no Maciço Hespérico, mais concretamente na Zona Centro Ibérica (figura 2.4), uma das cinco zonas geotectónicas em que se encontra dividido o território português (Julivert et al. 1974).

As rochas mais antigas da região abrangida pelo mapa são as do Complexo Xisto-Grauváquico. Esta série, muito espessa, foi dobrada e deslocada por movimentos que atuaram anteriormente ao Ordovícico. Foi, talvez, nessa altura que se verificou a instalação das massas e dos filões de microgranito e dos filões doleríticos que acompanham os xistos (Ribeiro et al. 1965). Posteriormente a estes acontecimentos, ocorreu uma fase de emersão. Durante esta fase, a erosão foi abundante.

Segundo Ribeiro et al. (1965), os movimentos hercínicos tiveram enorme influência na consolidação da estrutura desta região, embora possam ter existido ações orogénicas mais antigas. Estes movimentos foram responsáveis pelo deslocamento das formações ordovícicas, que foram dobradas conjuntamente com os xistos ante-ordovícicos. A faixa ordovícica, correspondente à crista quartzítica, apresenta uma estrutura em sinclinal, com inúmeras dobras secundárias e algumas falhas.

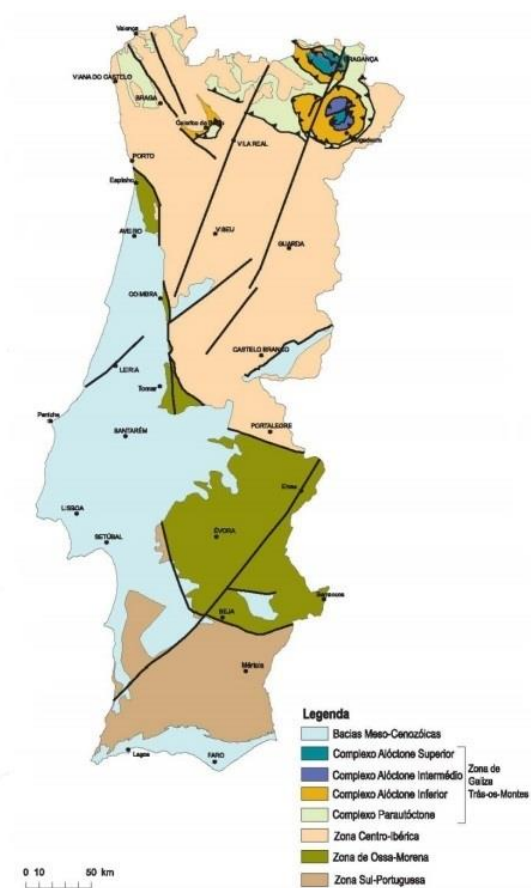


Figura 2.4- As 5 regiões tectono-estratigráfica do território continental português; Fonte: Duarte & Bento dos Santos, 2010.

## 2. ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

Em relação com a orogenia hercínica, deram-se importantes fenómenos de granitização, formando-se os granitos de Nisa, inteiramente ligados quanto à idade e à natureza petrográfica, aos granitos da Beira. Estes granitos, ao recortarem os xistos, originaram no contacto ampla orla de metamorfismo, com uma faixa de corneanas. Estas são sucedidas por xistos mosqueados. Ainda devido a fenómenos de granitização, ocorreu a formação de filões aplito-pegmatíticos e filões de quartzo. Estes últimos apresentam, por vezes, mineralizações de volframite e cassiterite. O maciço assim formado permaneceu emerso durante o Paleozóico superior e todo o Mesozóico, tendo sofrido a ação da erosão (Ribeiro et al. 1965).

Durante o Cenozóico, posteriormente à deposição de arcoses, ocorreram movimentos de afundamento, nomeadamente os de Rodão e Arneiro. Estes movimentos originaram a formação de pequenas bacias tectónicas, onde as arcoses ocupam o seu fundo. O rio Tejo instalou-se nesta superfície, afundando progressivamente até à posição que hoje se encontra (Ribeiro et al. 1965).

A morfologia atual resultou de todas estas ações em que avultam não só fatores litológicos, como a erosão diferencial e tectónica (Ribeiro et al. 1965).

No concelho de Nisa predominam dois tipos de litologias (figura 2.5). A Norte do concelho, afloram essencialmente metassedimentos (xistos e grauvaques) de idade Ediacariano. A Sul encontram-se essencialmente rochas granitoides do denominado Maciço de Nisa. Estes granitos, ao recortarem os metassedimentos, originaram, no contato, uma ampla orla de metamorfismo.

A Norte, onde se localiza a área de estudo, como já referido, afloram metassedimentos do Grupo das Beiras (GB), tradicionalmente conhecido por Complexo Xisto-Grauváquico e atribuído ao Ediacariano- Câmbrio inferior. Trata-se de uma sequência do tipo “*flysch*” (xistos e grauvaques) de espessura quilométrica, com grande expressão na Zona Centro Ibérica que tem sido interpretada como resultado da erosão da cadeia Cadomiana (Solá, 2007).

Na área de Nisa, o GB compreende uma sequência de filitos micáceos (constituídos por sericite e clorite, ou sericite, biotite e clorite) e quartzo-micáceos, xistos micáceos, grauvaques e metagrauvaques, xistos quartzo-calcossilicatados e ainda filitos e metassiltitos negros, grafitosos e fosfatados (Solá, 2007).

Os grauvaques são particularmente desenvolvidos na região entre Fratel e Ribeira de Nisa mostrando-se, em geral, acentuadamente metamorfizados, constituindo verdadeiros metagrauvaques. A sua composição mineralógica é essencialmente de quartzo, moscovite, sericite, clorite e biotite, sendo que, quanto mais acentuado for o metamorfismo, maior é a percentagem de biotite (Ribeiro et al. 1965).

O complexo xistento é acompanhado por diversos filões, na sua maioria concordantes com os xistos. Os filões de quartzo são quase sempre pouco desenvolvidos e quase sempre lenticulares. Pelo contrário, os filões de rochas ácidas são muito extensos e numerosos. Na região da Senhora da Graça afloram diversas massas ou apófises de rochas graníticas (Ribeiro et al. 1965).

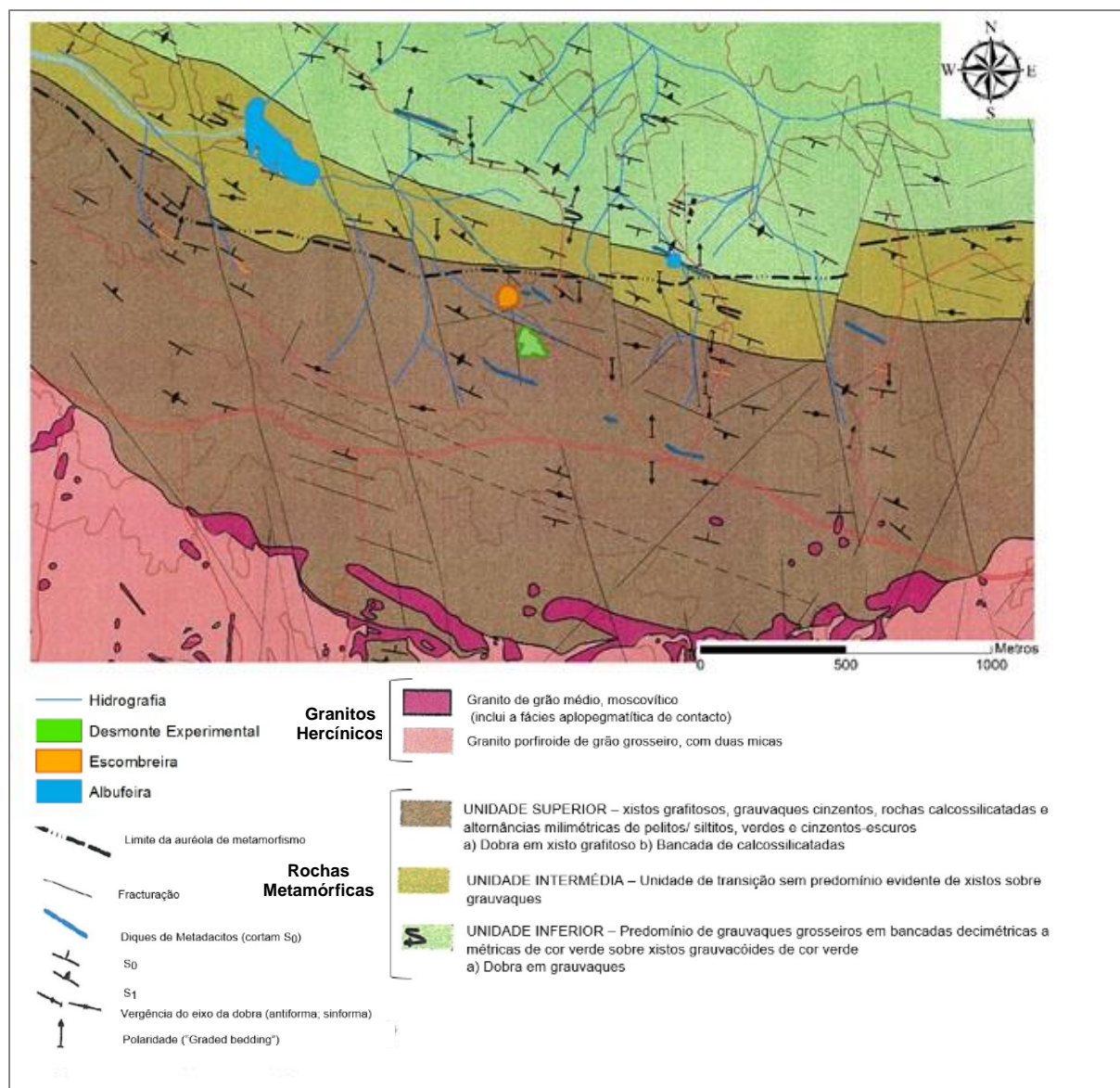


Figura 2.5- Carta geológica da região de Nisa – Monte Claro e informação estrutural: de hidrografia, desmorte experimental, escombeira e albufeira; adaptado de Alves dos Campos (2002).

No Sul do concelho, as rochas graníticas fazem parte do chamado batólito de Nisa, que se terá instalado há cerca de 300 milhões de anos. Devido a este facto e também por não se observar deformação, à exceção da fracturação tardi-hercínica, estes granitos são enquadrados no grupo dos granitos tardi e pós orogénicos, relativamente à 3ª fase de deformação Varisca (Ferreira et al. 1987). Distinguem-se duas fácies principais neste batólito, o Granito de Nisa e o Granito de Gáfete. O Granito de Gáfete corresponde a um granito de grão médio a fino, de duas micas, com moscovite dominante apresentando uma tonalidade amarelada. Por sua vez, o Granito de Nisa (que ocupa uma maior extensão) é um granito monzonítico de granularidade grosseira, porfíroide com megacrístais de feldspato potássico, biotítico-moscovítico, com predominância de biotite sofrendo, por vezes, pequenas variações espaciais de fácies. Como minerais essenciais possui quartzo, oligoclase e albite-oligoclase, microclina-pertite, micropertite, microclina, biotite e moscovite e como acessórios a apatite, zircão,

## 2. ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

andaluzite, silimanite, cordierite e turmalina. Como minerais secundários ocorrem a caulinite, sericite, clorite, rútilo acicular, esfena, pirite, óxidos e hidróxidos de ferro (Ribeiro et al., 1965; Prazeres, 2011).

Segundo Solá (2007), estudos geoquímicos e de suscetibilidade magnética dos vários granitóides indicaram padrões geoquímicos distintos, não compatíveis com a expressão de estádios de diferenciação magmática de um único líquido. A cartografia geoquímica exibiu também um progressivo aumento da diferenciação do Maciço para Este.

A intrusão dos granitos originou uma ampla orla de metamorfismo de contacto, formando uma faixa de corneanas, à qual sucedem xistos mosqueados. Esta auréola de metamorfismo tem orientação E-W com cerca de 1,5 km de largura, atravessando transversalmente toda a área do concelho de Nisa. As corneanas correspondem a rochas negras, com variações de zonas pelíticas, quartzo-pelíticas, calcossilicatadas e com porfiroblastos. A composição mineralógica mais comum é biotite, cordierite, moscovite, sericite e quartzo com os minerais acessórios grafite, óxidos e hidróxidos de ferro, feldspatos, turmalina, zircão e apatite, estando a cordierite presente tanto como porfiroblasto (por vezes sericitizados e cloritizados pseudomorfizando a cordierite) como na matriz. Relativamente aos xistos mosqueados, a associação mineralógica mais comum é quartzo, biotite, moscovite, sericite e clorite. A grafite e a pirite são muito abundantes (Ribeiro et al. 1965).

A Bacia Terciária do Tejo está representada no concelho de Nisa por alguns retalhos de formações sedimentares que assentam principalmente em metassedimentos do Grupo das Beiras, nas proximidades da margem esquerda do rio Tejo (Martins et al. 2010). Sobre estes, encontram-se afloramentos com dimensões variáveis de depósitos essencialmente arcósicos, muito mais recentes, pertencentes à Formação de Cabeço do Infante, do Grupo da Beira Baixa de idade Eocénico médio a Oligocénico superior (Cunha et al. 2009). A deposição teve origem em extenso sistema aluvial na Bacia do Baixo Tejo, com alimentação a partir dos granitóides de Nisa e Castelo Branco. A Formação da Falagueira, Pliocénico superior, depositou-se discordantemente em posição de destaque (Cunha et al. 2009). Esta formação integra o Grupo da Murracha que é essencialmente constituído por depósitos de leque aluvial.

### **2.4 ANOMALIAS NATURAIS LOCAIS E NÍVEIS DE RADIAÇÃO E DE RADÃO NA ÁREA DO JAZIGO DE MONTE CLARO-NISA**

A principal fonte de radioatividade natural é a crosta terrestre devido à presença de elementos radioativos. Esta fonte representa cerca de 73% da radioatividade à superfície do planeta, com origem nos processos de decaimentos dos elementos radioativos urânio (U), tório (Th) e potássio (K), que ocorrem em todos os tipos de rochas da crosta e respetivos solos derivados. A exposição às radiações pode ocorrer por radiação externa, que consiste no contacto direto com as rochas, ou por radiação interna que compreende a inalação de poeiras de radão, ingestão de produtos alimentares e água contaminadas por radionuclídeos móveis suscetíveis de se transferirem para as cadeias tróficas (Alves

de Campos, 2002). Na figura 2.6 encontra-se representado as principais fontes terrestres de radioatividade.

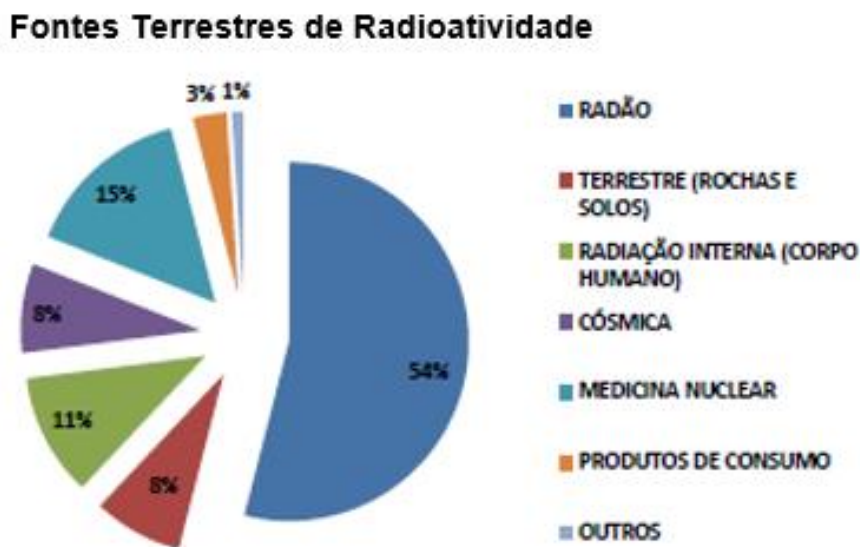


Figura 2.6- Fontes de radiação a que a população dos E.U.A. está exposta; Fonte: Alves de Campos (2002).

O radão, gás que resulta da desintegração do  $U_{238}$ , dispersa-se para atmosfera circundante ao local onde foi formado. Os produtos de decaimento do gás radão são também isótopos radioativos mas sob a forma sólida e carregados eletricamente, comportando-se como iões que podem ser adsorvidos em poeiras e gotículas de água do ar (Alves de Campos, 2002).

Existe certos fatores, num jazigo de urânio, que condicionam os impactos ambientais produzidos, tais como: as tonelagens de urânio, o teor dos minérios, a profundidade da mineralização, a área de disseminação, o grau de alteração do jazigo, a localização e a ocupação do território.

O conhecimento geológico, metalogénico e estrutural, aliado à existência de índices conhecidos, permite uma maior facilidade na seleção de áreas favoráveis à ocorrência de concentrações anómalas de diferentes elementos químicos.

Em 1989, a D.G.G.M. – Serviço de Fomento Minero, efetuou um levantamento aero-radiométrico que cobriu uma área correspondente às cartas 1:25 000 de Nisa (324), Póvoa e Meadas (325), Alpalhão (334) e Castelo de Vide (335). Os equipamentos utilizados foram um espectrómetro de raios gama e dois detetores de NaI(Tl) (Alves de Campos, 2002).

Através da análise das cartas aeroradiométricas referentes a contagens totais (figura 2.7) e ao urânio (figura 2.8), verifica-se o aumento do fundo radiométrico de Norte para Sul, sendo mais baixo na zona dos metassedimentos do Grupo das Beiras e mais alto no complexo eruptivo de Nisa. Na orla metamórfica de contacto do granito de Nisa os valores de radiometria são também elevados, e observa-se que as rochas ígneas apresentam heterogeneidade no que respeita ao fundo radiométrico.



## 2.ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

Verifica-se que a água atenua o efeito da radiação gama natural, visível a partir da inversão do fundo radiométrico observada nas albufeiras de Póvoa e Meadas e Poio (troços da Ribeira de Nisa), sendo que a primeira apresenta maior área.

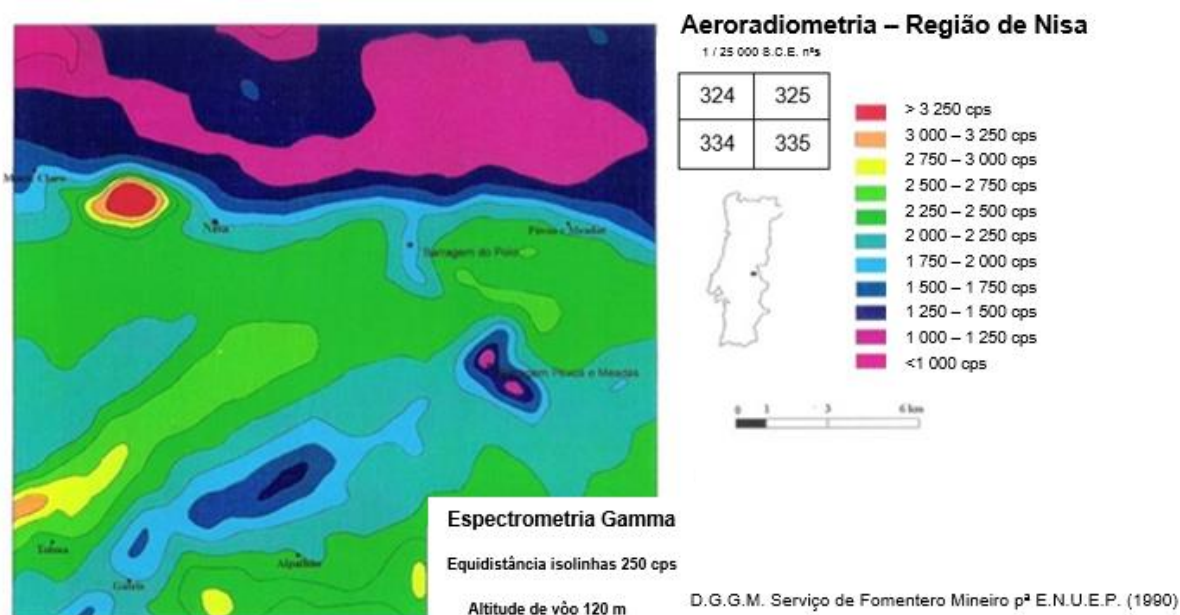


Figura 2.7- Carta aeroradiométrica de contagens totais, região de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002.

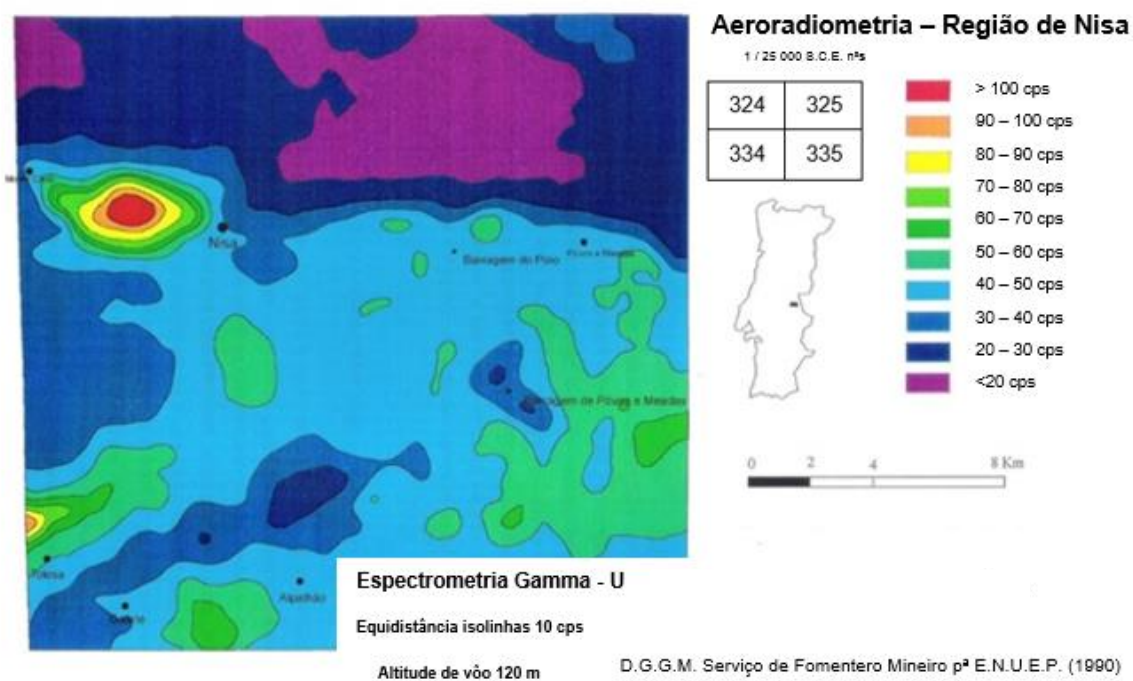


Figura 2.8- Carta aeroradiométrica de espectrometria gama de urânio, região de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002.

## CAPÍTULO 2

Os valores mais elevados de radiação gama ocorrem no granito de Nisa (figura 2.7 e 2.8). Nele estão localizadas algumas zonas enriquecidas em urânio, nomeadamente o jazigo de Tolosa a NW de Gáfete. Por outro lado, no interior do batólito verifica-se que o fundo radiométrico é significativamente mais baixo.

A Junta de Energia Nuclear (JEN), criada em 1954, disponibilizou-se para efetuar a prospeção de urânio a nível nacional. Esta foi iniciada em 1957 com a realização de uma campanha de prospeção cintilométrica auto-transportada que permitiu o fornecimento de uma imagem da radioatividade de superfície de ocorrências uraníferas. A avaliação do fundo radiométrico na área do jazigo de Nisa auxiliou na individualização de sectores distintos e com expressão espacial diferenciada (Alves de Campos, 2002).

Através da sobreposição das cartas geológica e radiométrica, verificou-se que a ocorrência de sectores de maior atividade gama se concentram, quase exclusivamente, em terrenos do Complexo Xisto-Grauváquico localizados na orla metamórfica de contacto do granito de Nisa (figura 2.9). As anomalias radiométricas situam-se entre as povoações de Monte Claro e Nisa, numa área de aproximadamente 3,5 km<sup>2</sup>. A área mais rica, denominada zona A, localiza-se na faixa central e engloba os dois sectores com fundo radiométrico mais elevado, Nisa e Maria Dias, ocupando no total cerca de 80 ha. A partir da configuração das isorrádicas, constata-se que os valores mais elevados de radiação gama se desenvolvem em direções preferenciais, nomeadamente segundo N70-80°W, N50-60°W e N70-80°E (Alves de Campos, 2002).

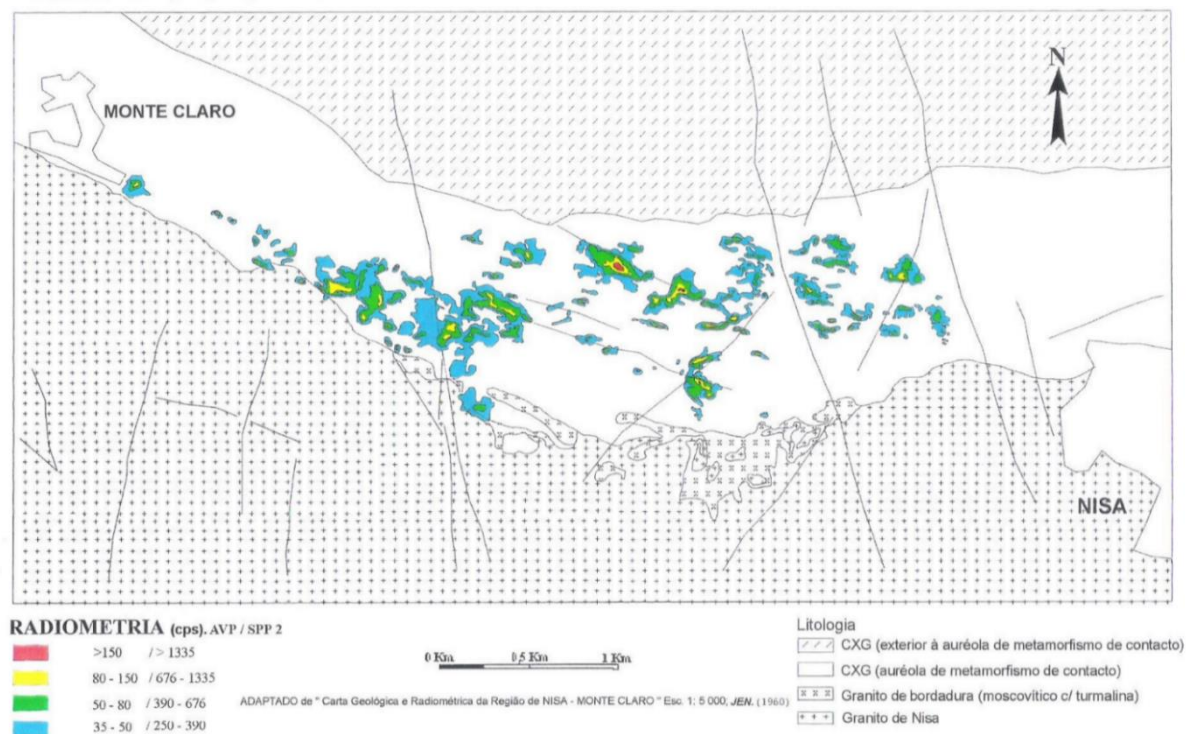


Figura 2.9- Enquadramento geológico e radiometria na área do jazigo de Nisa; Fonte: Alves de Campos, 2002.



## 2.ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

Em Prazeres (2011), foi efetuado um levantamento radiométrico com recurso a um cintilómetro SPP2 numa região de Nisa (121 500 m<sup>2</sup>), cobrindo a zona de desmonte experimental e a envolvente, numa malha de aproximadamente 15x10 m. O mapa radiométrico obtido (figura 2.10) exhibe as contagens de 600 cps como valores de fundo (correspondente à mediana das leituras), chegando aos 6000 cps na zona da corta. No entanto, não é na zona da corta que se registam as medições mais elevadas.

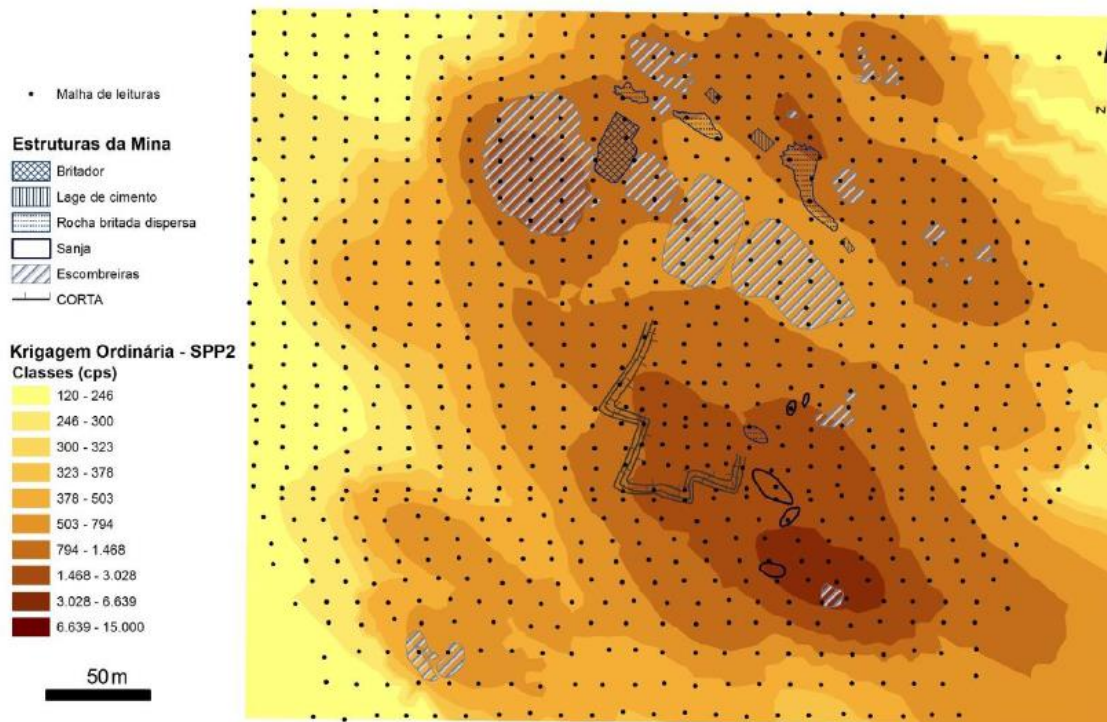


Figura 2.10-Mapa de distribuição dos dados de SPP2 na área de Nisa e cartografia das escombreyas e antigas estruturas projetadas para apoio à mina; Fonte: Prazeres, 2011.

Relativamente à quantidade de radão na área do jazigo, em Alves de Campos (2002) foi utilizada a técnica do tipo ativo ou instantâneo para a determinação da concentração de radão no ar do solo (método de colheita de uma amostra de radão em determinado tempo e sua análise no que respeita à sua atividade  $\alpha$ ). A amostragem foi efetuada em agosto de 2000 em condições climáticas estáveis, o solo apresentava baixo teor em humidade, facilitando deste modo a difusão do gás.

Foram obtidos valores que se dispersam num amplo intervalo de variação, apresentando o mínimo de 32,6 kBq.m<sup>-3</sup> e o máximo de 18 875,4 kBq.m<sup>-3</sup>. Esta dispersão elevada está relacionada com a variabilidade espacial na distribuição dos teores de urânio na área. Os valores obtidos são dos mais elevados encontrados até ao momento em solos do território continental português (Alves de Campos, 2002).

## 2.5 MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E TEORES DO JAZIGO

Existem vários tipos de jazigos de urânio, dos quais se destacam, pela sua importância a nível mundial, os jazigos em arenitos, em inconformidades, os paleoplacers e os jazigos do tipo cobre – ouro em óxidos de ferro (IOCG). Os principais tipos de jazigos estão representados na tabela 2.1.

Tabela 2.1- Principais tipos de jazigos de urânio no Mundo; adaptado de Moura & Velho (2011).

<b>Tipo de jazigo</b>	<b>Teor médio em Urânio (%)</b>
Em Arenitos	0,05- 0,25
Filões	1
Inconformidades	0,35- 10
Paleoplacers	0,03- 0,14
Vulcanogénicos	0,05- 0,1
Intrusivos	
IOCG- Iron Oxide Copper-Gold	
Metassomáticos	0,2

O jazigo de Nisa ocorre em disseminações em xisto constituídos por faixas de esmagamento do xisto mosqueado ou impregnações ao longo dos planos de xistosidade. É possível observar que, na zona mais meteorizada dos xistos, a mineralização nas superfícies de xistosidade é relativamente abundante, sendo acompanhada de impregnações limoníticas. Por outro lado, nas zonas mais sãs as superfícies de xistosidade são enriquecidas junto aos bordos das fraturas por pequenos cristais bastante dispersos. Assim, verifica-se que este tipo de mineralização disseminada em xistos está dependente de faixas fraturadas e esmagadas ou laminadas. Neste jazigo, a faixa esmagada e mineralizada de urânio localiza-se nas proximidades do contacto com o granito na direção WNW-ESSE, ocupando cerca de 5 km de comprimento e com largura a variar entre 50 a 400 m. Dentro desta faixa ocorrem zonas irregulares de maior concentração de mineralização separadas, por vezes, por zonas praticamente estéreis à superfície do terreno. Esta mineralização uranífera é constituída por pirite, autunite, saleíte, bassetite, fosfuranilite, rara torbernite e produtos negros de urânio (Limpó de Faria & Pinto de Mesquita, 1962; Portugal & Ferreira, 1971).

Segundo Prazeres (2011), os xistos são constituídos essencialmente por clorite, moscovite e biotite, com quartzo, óxidos de ferro e alguns minerais acessórios. O quartzo ocorre essencialmente fraturado, com óxidos de ferro ou outros minerais a preencher essas fraturas. Relativamente às zonas de porfiroblastos, observa-se a paragénese quartzo e biotite, a qual resulta da retrogradação da cordierite. No interior destas zonas, podem-se encontrar grãos de moscovite, biotite, alguns destes filossilicatos previamente alterados para clorite.

## 2. ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO: ANOMALIA DO JAZIGO MONTE CLARO - NISA

O reconhecimento do jazigo foi efetuado a partir de diversos trabalhos de prospeção com o objetivo de o delimitar e caracterizar detalhadamente. Efetuou-se um plano de sanjas que confirmou a existência de abundantes mineralizações, constituída por minerais secundários de urânio associados a faixas de brechificação nos xistos e grauvaques alterados, as quais se dispõem sensivelmente subparalelamente aos planos de xistosidade (Alves de Campos, 2002).

Após três fases de prospeção, ficou delimitado o jazigo em profundidade, verificando-se que a mineralização de urânio ocorre essencialmente à superfície. A zona mais enriquecida corresponde aos primeiros 25 metros, reduzindo-se drasticamente os teores a partir desta profundidade. Abaixo dos 50 metros são raros os valores anómalos. A mineralização é independente da litologia, associando-se a fraturas verticais e subverticais, e subparalelas aos grandes cisalhamentos WNW. Existem ainda zonas mineralizadas ligadas a fraturas sub-horizontais, conjugadas com falhas verticais, detetadas apenas durante a campanha de sondagens (Limpo de Faria, 1965; Alves de Campos, 2002).

Relativamente ao cálculo das reservas, este decorreu dos resultados da radiocarotagem obtidos nas diferentes sondagens sem recuperação. Segundo Alves de Campos (2002) estima-se que o volume do jazigo seja de 16 milhões de m<sup>3</sup> com teor médio de 102 ppm urânio. Com a densidade de 2,1 para minério “seco ” as reservas geológicas estimam-se em 3 500 toneladas de urânio. Existe, no volume total do jazigo, uma tonelagem considerável de urânio com um teor médio 15 a 20 vezes superior ao teor médio no Maciço Hespérico. Cerca de 7,4% do volume do jazigo tem teor médio de 900 ppm de urânio, ocorrendo também locais onde o teor médio é cerca de 3 900 ppm de U.



### 3. MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo destina-se a compreender os efeitos que ocorrem, devido a processos naturais de erosão e de transporte hidrogravítico, em sedimentos de corrente e solos na envolvente a uma anomalia geoquímica natural, neste caso correspondente a um jazigo de urânio, situado em Nisa. Pretende-se conhecer a variação local da magnitude nas concentrações geoquímicas, identificando-se situações naturalmente anómalas em diversos elementos e as suas variações em termos espaciais. O estudo contemplou as seguintes sete etapas conforme a figura 3.1.

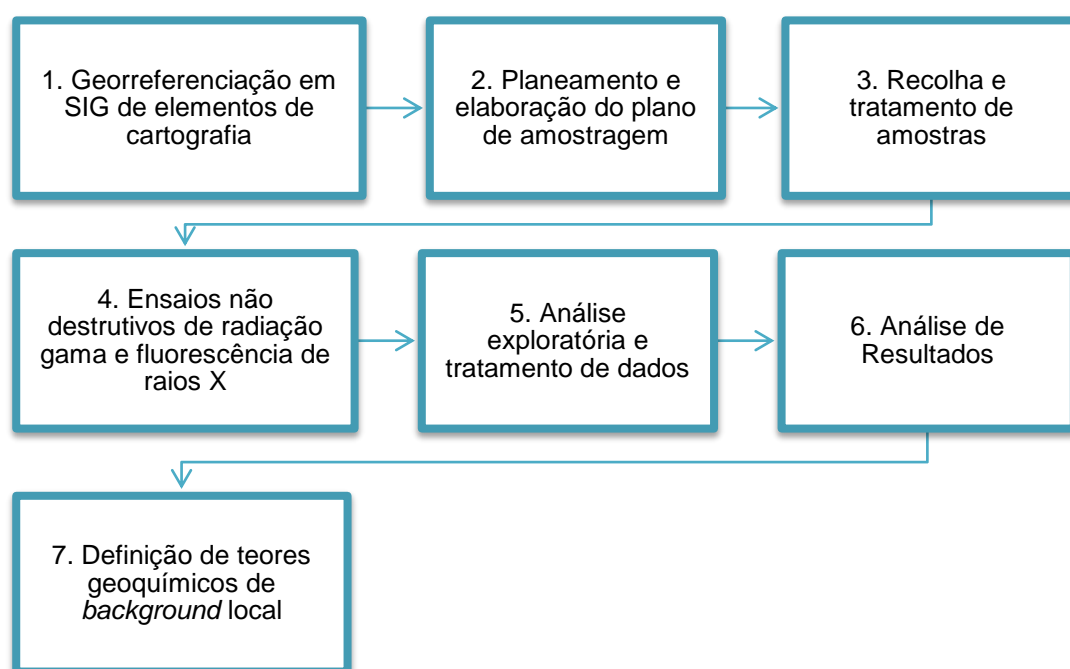


Figura 3.1- Principais etapas da metodologia adotada para o presente estudo.

#### 3.2 PLANO DE AMOSTRAGEM

##### 3.2.1 PROCEDIMENTO PARA A SELEÇÃO DE LOCAIS A AMOSTRAR

Os locais a amostrar devem ser previamente estudados de forma a permitir planejar um plano de amostragem representativo, incluindo as anomalias que sejam significativas do fenómeno em questão. Neste caso concreto, tratando-se o foco do estudo de uma linha de água que drena uma área dotada de uma anomalia geoquímica natural, a seleção dos locais a amostrar teve em consideração a dinâmica da área em estudo, para que as amostras colhidas sejam representativas dos processos hidráulicos e de sedimentação que ocorrem na linha de água. Deste modo, é necessário o conhecimento da geologia

regional e dos processos que influenciam a distribuição de sedimentos, que é o caso da erosão, transporte e acumulação. O estudo destes processos pode ser efetuado através de vários itens, como é o exemplo da carta topográfica e fotografias aéreas. Estes permitem a elaboração de um plano de amostragem eficiente pois é possível recolher amostras representativas em menor número.

Os sedimentos estudados correspondem a sedimentos de corrente localizados numa linha de água e nas suas margens. Estes sedimentos são depositados continuamente em águas pouco profundas com fluxo dotado de funcionamento sazonal em regime torrencial.

As amostras recolhidas devem permitir a determinação da variabilidade espacial, tamanho e gradação dos sedimentos de corrente. Para garantir que os resultados obtidos são representativos das condições do leito de água não devem existir afluentes na proximidade dos locais amostrados, e estes não se devem localizar próximo de uma zona de erosão ativa, de forma a não alterar a homogeneidade da área em estudo. Troços com águas paradas devem ser evitados, uma vez que não são representativos do panorama local.

A importância atribuída neste caso de estudo, em que se pondera os efeitos de uma anomalia geoquímica natural a partir de resultados obtidos em sedimentos de corrente reside no facto de que, para diversos elementos geoquímicos, as variações laterais na composição química dos sedimentos servem como guia para a localização e posicionamento do foco da anomalia. Por outro lado, a análise através de amostras de água pode tornar-se difícil para certos metais que ocorram em concentrações vestigiais ou inclusivamente devido aos processos de transporte reativo a que estes se encontram sujeitos, processos que contribuem de um modo geral para a atenuação das concentrações em meio aquoso, sendo muito comumente tais metais rapidamente precipitados em formas secundárias nos sedimentos de fundo, situação que se verifica nomeadamente para diversos radionuclídeos.

Por esta razão, os coeficientes de distribuição ( $K_d$ ) para diversos elementos (isótopos) são significativamente elevados e, por conseguinte, a determinação destes elementos nos sedimentos pode desempenhar um papel-chave na deteção de fontes de anomalia. Os contaminantes estão normalmente unidos a sedimentos coesivos, mistura de sedimentos nas quais a fração argilosa é superior a 10% (LNEC, 2012), encontrando-se predominantemente em áreas onde a velocidade de fluxo é baixa. Deste modo, a amostragem para estudos de dispersão geoquímica ou de contaminação deve ser preferencialmente concentrada em áreas tendencialmente de deposição, nomeadamente nas planícies de inundação (IAEA, 2003; National Engineering Handbook, 2007).

### **3.2.2 RECOLHA DE AMOSTRAS, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO**

O objetivo da amostragem é coletar uma amostra representativa e, inclusivamente em certos casos particulares, imperturbável do solo/ sedimento a ser investigado. Existem, muitos fatores que devem ser considerados na escolha do equipamento adequado, onde se incluem o plano de amostragem, a localização e acesso ao local de amostragem, condições de acessibilidade e, quando necessário, o tipo de plataforma disponível para amostragem, as propriedades físicas dos sedimentos, o número de locais a serem amostrados, o tempo e a experiência do pessoal que irá realizar o procedimento.

Após a coleta dos solos/ sedimentos, as amostras devem ser transportadas para o laboratório, em condições que não comprometam os resultados das análises subsequentes. Para tal devem ser tomadas algumas precauções durante a amostragem e manuseio das amostras. Estas consistem na minimização das interações entre as amostras e os utensílios e das interações entre as amostras e o ambiente exterior. A temperatura também deve ser controlada. Para minimizar a potencial contaminação, os recipientes que contêm as amostras devem ser tratados com o mesmo cuidado que as amostras devendo-se lavar os recipientes com produtos de limpeza adequados e executar brancos analíticos (IAEA, 2003).

#### **3.2.3 PARÂMETROS PARA INTERPRETAÇÃO DE DADOS**

O conhecimento da matriz de sedimentos é fundamental para a interpretação dos teores de contaminantes em sedimentos. Os parâmetros mais importantes são a distribuição granulométrica, o teor de matéria orgânica e a percentagem de água intersticial.

Relativamente à fração granulométrica, a sua separação por classe é importante pois, à partida, é de esperar que a concentração de um contaminante seja maior na fração fina (<0,2 mm). Isto deve-se ao facto das partículas finas apresentarem maior área de superfície por unidade de volume o que facilita a ligação para muitos contaminantes dissolvidos. Deste modo, a fração de sedimentos finos poderá ser especialmente importante para estimar o grau relativo de contaminação (IAEA, 2003).

#### **3.2.4 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

Existem vários ensaios não destrutivos que permitem avaliar a composição de uma amostra. Neste estudo foram utilizados a cintilometria de raios gama e a análise de fluorescência de raio X (XRF).

##### **3.2.4.1 CINTILOMETRIA DE RAIOS GAMA**

A desintegração da radiação gama dá origem à emissão espontânea de partículas alfa e beta e raios gama. A deteção é feita pelo cintilómetro. Este equipamento é constituído por dois componentes principais. O primeiro consiste num detetor que absorve a radiação incidente e converte a energia recebida em fótons por ionização, sendo utilizado cristais cilíndricos de NaI(Tl). O processo de deteção de raios gama segue uma sequência de passos: uma partícula ionizante ao perder energia no detetor excita os eletrões da camada de valência para a banda condutora; seguidamente, estes eletrões regressam à camada de valência e ao efetua-lo emitem luz na região ultravioleta do espectro. Deste modo, é incluído o Tálcio (Tl) na solução que origina o cristal, para que as impurezas do Tl criem níveis intermédios de energia e permita a geração de luz visível (400- 700 nm) de forma, a que esta possa alcançar o fotocátodo com perdas mínimas. Relativamente ao segundo componente que constitui o cintilómetro, este consiste num fotomultiplicador que converte o impulso luminoso num impulso de eletrões para permitir a amplificação do sinal. Este tubo fotomultiplicador é constituído por um cátodo

fotoemissor que converte a luz proveniente do detetor em eletrões num dínodo que irão embater no ânodo. Este ânodo recolhe os eletrões induzindo um impulso de voltagem negativa como output. Deste processo resulta uma amplitude proporcional à energia do fotão incidente. Esta técnica permite a determinação das concentrações de radionuclídeos de origem natural ou provocada pelo homem (Siegbahn, 1968; Prazeres, 2011).



Figura 3.2- Cintilómetro de contagem total de SPP2 da *Saphymo- PHY*; Fonte: [www.saphymo.com](http://www.saphymo.com), Consultado em Abril de 2015.

Para a realização deste estudo foi utilizado um cintilómetro portátil, devidamente calibrado, de contagem total de SPP2 com um detetor de NaI(Tl) da *Saphymo- PHY* (figura 3.2). Este equipamento é amplamente utilizado em ensaios de campo devido ao seu formato e robustez. A sua sensibilidade é bastante alta, devido ao facto de apresentar um detetor de iodeto de sódio (ativado com tálio). É muito utilizado para localizar fontes de materiais radioativos, nomeadamente na prospeção de jazigos de urânio (Prazeres, 2011). A unidade de medida é choques por segundo (cps) e apresenta seis opções de escala de medida, até à leitura máxima de 15000 cps e uma autonomia de 40 horas. A leitura das radiometrias efetuam-se através da observação de um ponteiro móvel.

### 3.2.4.2 ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

O princípio deste método consiste na utilização de uma fonte de radiação de elevada energia (radiação X) que provoca a excitação dos átomos da amostra. Quando um átomo no estado fundamental fica sob a ação de uma fonte externa de energia, ele absorve esta energia, promovendo eletrões a níveis mais energéticos. Neste estado o átomo encontra-se numa situação instável, chamada “Estado Excitado”. Na natureza tudo tende a buscar o estado de estabilidade, desta forma o átomo excitado tende naturalmente a retornar ao seu estado fundamental, ocorrendo uma emissão de energia (menor do que a energia produzida pela radiação X) denominada de radiação fluorescente. Esta energia envolvida na absorção é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo



a sua identificação e correspondente quantificação (Beckhoff, 2006). A utilização da fluorescência de raios-X tem diversas aplicabilidades, tais como na pesquisa em petrologia ígnea, sedimentar e metamórfica, estudo de solos, estudos ambientais, entre outros.

Para a realização desta análise foi utilizado um espectrômetro de fluorescência de raios X da *Niton* – *Thermo Scientific Niton XL3p X-ray* (figura 3.3). Este aparelho funciona através dos princípios espectroscópicos de comprimento de onda dispersivo, semelhante a uma microsonda eletrônica. Apresenta baixo custo e facilidade na preparação das amostras. Este facto aliado à estabilidade e facilidade de uso de espectrômetros de raios-X fazem deste método um dos métodos mais utilizados para a análise de elementos em rochas, sedimentos e minerais.

Em laboratório, este equipamento pode ser ligado à corrente elétrica e a um computador para a leitura automática e imediata dos dados. A unidade de medida é partes por milhão (ppm) e permite avaliar a concentração de 43 elementos e a de matéria orgânica. A leitura é dada no computador onde sai um ficheiro *excel*, com todas as concentrações, e um espectrograma onde permite verificar quais os elementos com maior percentagem na amostra. É recomendada a utilização de uma atmosfera de gás hélio que permite a substituição do ar presente no tubo da radiação X por gás hélio de forma a permitir a análise direta dos elementos magnésio, alumínio, silício, fósforo e níveis baixos de enxofre.



Figura 3.3- *Thermo Scientific Niton XL3p x-ray*; Fonte: [www.niton.com](http://www.niton.com), Consultado em Abril de 2015.

### 3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.3.1 ANÁLISE UNI E BIVARIADA

A análise univariada consiste no estudo descritivo e em separado de cada variável através de histogramas simples ou cumulativos, tabelas de frequências, estatísticas de síntese da posição central, dispersão e assimetria (Isaaks & Srivastava, 1989).

## CAPÍTULO 3

Nas medidas de dispersão e assimetria inclui-se os *outliers* que consistem em valores que apresentam um grande afastamento em relação à média da amostra. Podem ser divididos em *outliers* de 1ª e 2ª ordem e ainda à esquerda e à direita (tabela 3.1).

Tabela 3.1- Intervalos dos *outliers* de 1ª e 2ª ordem a esquerda e à direita construídos a partir dos quartis.

	1ª Ordem	2ª Ordem
Esquerda	$[Q1-3(Q3-Q1); Q1-1,5(Q3-Q1)]$	$[min; Q1-3(Q3-Q1)[$
Direita	$[Q3+1,5(Q3-Q1); Q3+3(Q3-Q1)]$	$]Q3+3(Q3-Q1); máx]$

A análise bivariada estuda a dependência e comportamento de pares de variáveis. São utilizadas ferramentas estatísticas e gráficas como diagrama de dispersão ou *scattergram* e os coeficientes de correlação de *Pearson* e o de *Spearman*. Estes dois coeficientes de correlação complementam-se: quando o coeficiente de *Spearman* apresenta um valor superior ao coeficiente de *Pearson* significa que existe uma relação de grandeza das variáveis mas não linear, ou ainda que alguns pares de pontos de valores anómalos podem estar a degradar a correlação entre as variáveis. Por outro lado, quando o coeficiente de *Spearman* apresenta um valor inferior ao de *Pearson*, isto pode significar que alguns pares de pontos de valores anómalos podem estar a construir uma correlação artificial entre as variáveis que na prática não existe (Isaaks & Srivastava, 1989).

A regressão é uma técnica que permite analisar e apurar a relação de uma variável dependente com variáveis independentes específicas, e pode ser usada como um método descritivo complementar de análise de dados. As funções de ajustamento podem ser lineares (grau 1) ou polinomiais (grau 2 ou superior). A função encontrada entre duas variáveis deve ser sempre suportada pela relação conceptual das variáveis no fenómeno em estudo.

### 3.3.2 ANÁLISE MULTIVARIADA

A análise multivariada seguiu os princípios básicos que regem a análise fatorial, método que possibilita a análise simultânea de um conjunto de variáveis. Esta técnica de processamento de dados permite analisar o conteúdo de tabelas de significativa dimensão, por via do estabelecimento e de fatores que melhor explicam as similitudes e oposições entre indivíduos e variáveis. Os fatores são hierarquizados por ordem decrescente da sua importância para a explicação da tabela de partida e constituem um sistema de eixos ortogonais onde é possível visualizar, sob a forma gráfica, as projeções dos constituintes da matriz de dados. A interpretação dos gráficos é realizada visualmente tendo em conta um conjunto de regras simples e claras, cruzando-se a análise de resultados com as relações mais significativas existentes nas tabelas de *input* e de *output*. Na elaboração do presente trabalho recorreu-se à Análise em Componentes Principais (ACP). A ACP modifica um conjunto de variáveis

correlacionadas num conjunto menor de variáveis independentes chamados fatores ou componentes principais. Esta técnica é utilizada a fim de identificar padrões no conjunto de dados e identificação de similitudes e dissimilaridades entre variáveis distintas. Uma das principais vantagens do método é a redução da dimensão dos dados e respetiva análise a realizar que se resume, no seu essencial, à informação das variáveis correlacionadas em componentes principais. Estas componentes são utilizadas na representação da informação contida nas variáveis originais. Esta técnica é importante na identificação de *outliers*, uma vez que na representação gráfica das componentes principais nos eixos fatoriais, os *outliers* surgem como pontos isolados.

#### 3.4 PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois programas informáticos: o ArcGis 10.2.1 e o Andad 7.10.

O programa ArcGis®, desenvolvido pela ESRI, utiliza modelos de dados de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) para representar a geografia e contém todas as ferramentas necessárias para criar e trabalhar com os dados geográficos, ou seja para executar todas as tarefas de SIG: editar e automatizar dados, administrar dados, realizar análise geográfica, administrar dados avançados e desenvolver dados e aplicações na Internet.

Relativamente ao programa Andad, desenvolvido pelo Centro de Geosistemas (CVRM) do Instituto Superior Técnico (IST), é um programa de análise de dados, com ferramentas para análise univariada, bivariada e multivariada.



## 4. CASO DE ESTUDO

### 4.1 ESTRUTURAÇÃO DO PLANO DE AMOSTRAGEM E RECOLHA DAS AMOSTRAS

A primeira etapa do trabalho foi a obtenção da carta topográfica e de fotografias de satélite através do Google Earth, a que se seguiu a georreferenciação em SIG do local de estudo de forma a permitir o seu conhecimento prévio (figura 4.1). Após a observação preliminar do local, seleccionou-se como objeto de referência da amostragem uma ribeira que intersecta a área da anomalia, e que alimenta uma barragem de enrocamento a jusante, situada em Monte Claro. Considerando-se a extensão da ribeira, desde a origem (próximo da área do desmonte experimental) até à barragem, de cerca de 1050 m, e a dimensão da anomalia local, considerou-se ser adequada a realização da amostragem de sedimentos em pontos na ribeira distanciados entre si de 10 metros, com mediação de radiação gama e das coordenadas por GPS. Para a amostragem dos solos foram considerados perfis transversais à ribeira que passam pelos pontos de amostragem dos sedimentos. Nestes perfis foram retiradas quatro amostras de solos, duas em cada margem, esquerda e direita, separadas 5 metros cada. O presente estudo compreendeu a medição dos primeiros 470 m da ribeira, localização em que se verificou na fase dos trabalhos de campo, ocorrer uma notória atenuação nos valores de radiometria, presumindo-se, por tal, que a amostragem realizada até esta localização seria o suficiente para a análise exploratória deste caso de estudo.

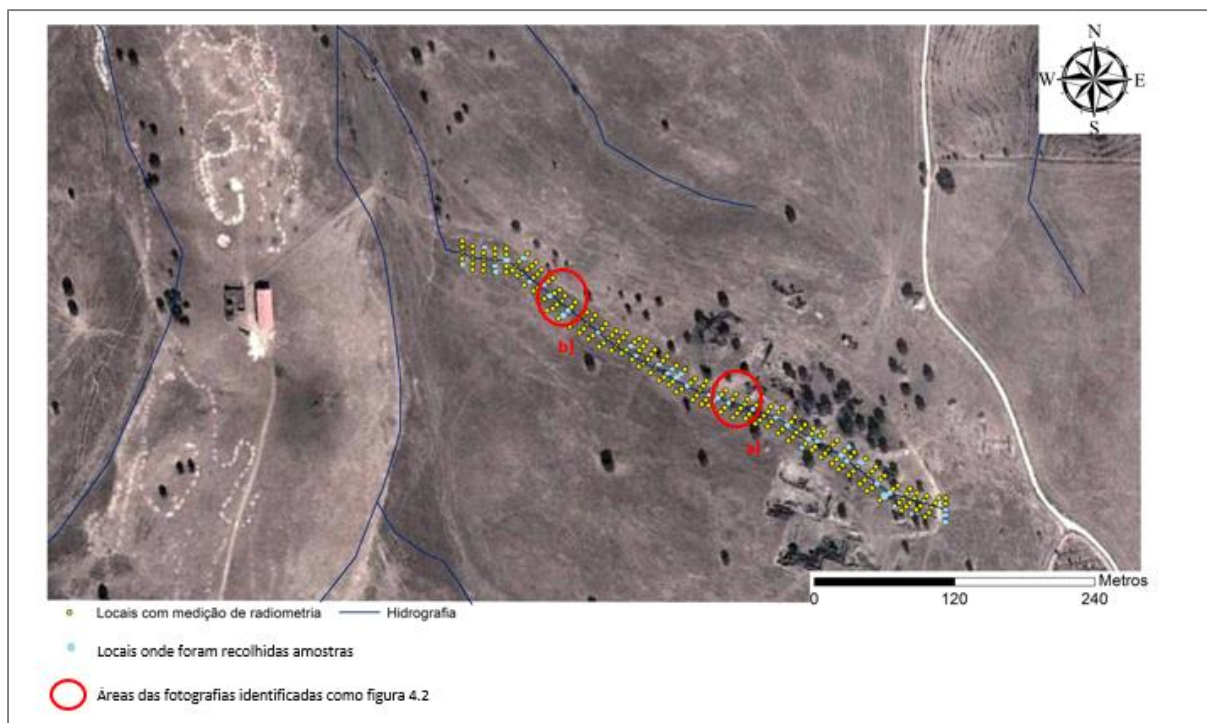


Figura 4.1 – Fotografia aérea da zona em estudo com marcação dos locais com medição de radiometria e onde houve recolha de amostras, fotografias da figura 4.2 e hidrografia.

## CAPÍTULO 4

Os pontos indicados na Figura 4.1 representam todos os 240 locais (solos e sedimentos) onde foi medida a radiometria com o auxílio de um cintilómetro SPP2. Destes 240 locais, recolheram-se 23 amostras de sedimentos de corrente e 19 amostras de solos de locais previamente seleccionados de forma aleatória, de modo a evitar enviesamentos e tendências pré-estabelecidas. A recolha de amostras ocorreu no mês de junho de 2015, pelo que a linha de água se apresentava seca, situação ideal para análise da fração que apresenta maior tendência em ser depositada no leito da ribeira e que ficará retida à superfície dos solos envolventes a esta mesma ribeira.



Figura 4.2- Duas vistas do troço da ribeira: a) Vista para NW; b) Vista Para SW.



Figura 4.3- Local amostrado sinalizado a vermelho, cintilómetro SPP2 e equipamento GPS.

As amostras foram colhidas com uma pá de plástico e colocadas em sacos devidamente catalogados. A utilização de pás de plástico deveu-se ao facto de não ser necessário uma grande quantidade de amostra (cerca de 1kg) e para evitar a sua contaminação, uma vez que se pretendia realizar uma análise mais incidente em elementos metálicos.



## 4.2 PROTOCOLO DE PREPARAÇÃO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SOLOS E SEDIMENTOS

Em laboratório, a amostra foi homogeneizada, desagregada e quarteada seguindo os procedimentos de preparação de amostras usuais e tidos por adequados. Previamente à colocação na coluna de separação granulométrica, realizou-se uma limpeza manual da amostra com um peneiro de 2mm para retirar restos de folhagens e plantas secas (figura 4.4). Verificou-se igualmente a presença de falsos aglomerados na fração situada abaixo dos 2 mm procedendo-se nestes casos à homogeneização manual com um almofariz (figura 4.5).



Figura 4.4- Material retido no peneiro 2mm.



Figura 4.5- Almofariz utilizado para proceder à desagregação.



Figura 4.6- Porção da amostra com granulometria superior a 2 mm.



Figura 4.7- Porção da amostra com granulometria inferior a 2mm.

## CAPÍTULO 4

Após este procedimento preliminar, são obtidas duas frações granulométricas: as iguais ou superiores a 2mm e as inferiores a 2mm (figuras 4.6 e 4.7).

As perdas resultantes deste processo prévio de limpeza e homogeneização foram, em média de 1,72% em termos de peso total da amostra, o que é considerado um valor baixo e adequado.

Seguidamente, juntaram-se as duas frações previamente separadas e colocou-se num agitador de peneiros com uma coluna de separação granulométrica constituída por 6 peneiros com as aberturas: 2 mm, 1 mm, 500  $\mu$ m, 250  $\mu$ m, 125  $\mu$ m e 63  $\mu$ m (figura 4.8). Procedeu-se à vibração e no fim retiraram-se 7 frações granulométricas. Manualmente, com o auxílio de um peneiro com malha 4 mm, procedeu-se à separação da porção da amostra retida no peneiro com malha de 2 mm obtendo-se, no total, 8 frações granulométricas. Esta última separação serviu para a eliminação da fração mais grosseira ( $\geq 4$  mm) para a realização das medições subsequentes.

A separação granulométrica realizada serviu para se averiguar a existência de eventuais diferenças nas composições químicas nas várias frações, avaliando-se, em particular, a ocorrência de diferenças entre as frações mais finas e as mais grosseiras que poderão expressar diferentes processos em termos da dispersão e precipitação de elementos geoquímicos. No final, as 8 frações foram sempre pesadas e apontadas as suas massas.



Figura 4.8- Coluna de separação granulométrica no agitador.



### 4.3 RADIAÇÃO GAMA POR CINTILOMETRIA MEDIDA *IN SITU* E EM LABORATÓRIO

Como já referido, a medição de radiação gama foi efetuada tanto *in situ* como no laboratório (tabela 4.1 e figuras 4.9 e 4.10). A média dos valores obtidos foi de 823 cps nas medições *in situ* e 95 cps em laboratório. Existe, por isso, uma grande diferença na magnitude dos valores de cps obtidos na medição da radiometria *in situ* e em laboratório de ordem das 10 vezes (figura 4.10), na zona da anomalia, são cerca de 13 vezes superiores aos medidos em laboratório. Estas diferenças são devidas à quantidade de massa presente, sendo que *in situ* esta é substancial e incomparavelmente superior à das amostras colhidas. Assim as medições *in situ* apresentarão contribuições de radioatividade ambiente superiores pois as medições são efetuadas junto à área da anomalia natural resultante da mineralização. Ou seja, para uma amostra existe um valor de radiação gama efetivo, devido ao teor de urânio que ela contém, mais o incremento devido aos efeitos da envolvente/ *background* local. No laboratório, como o *background* não contém anomalias, a radiometria dá valores muito mais baixos. Com o aumentar da distância à mineralização, para zonas mais a jusante da ribeira, verifica-se uma maior aproximação dos valores medidos *in situ* com os medidos em laboratório. Este facto é justificado devido à redução do efeito da anomalia local no *background*.

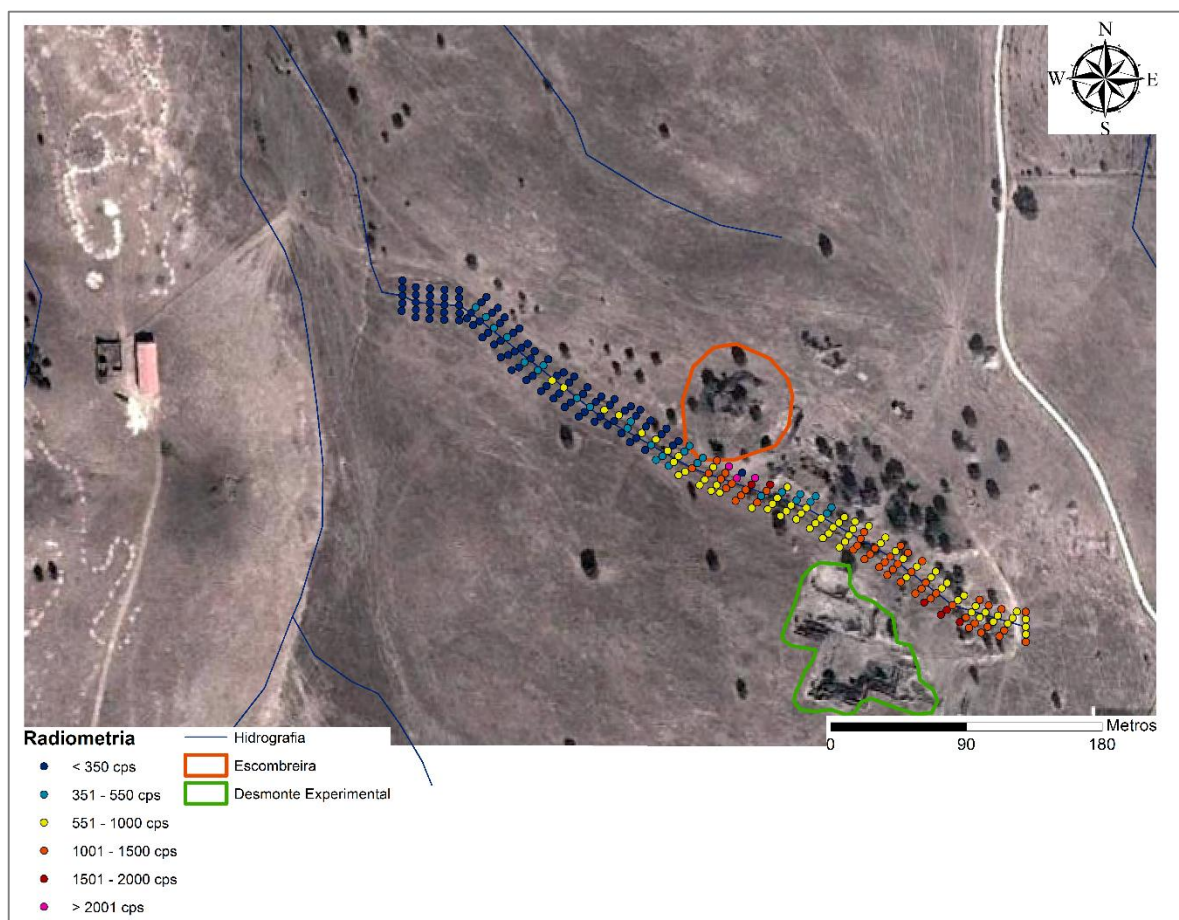


Figura 4.9- Representação da radiação gama (campo total) em cps medida ao longo da ribeira, tanto para os locais das amostras de solos e sedimentos e informação estruturante de hidrografia, escombreira e desmorte experimental.

Tabela 4.1- Medições de radiação gama.

Radiação gama (cps) das amostras de sedimentos			Radiação gama (cps) das amostras de solos		
Nº Amostra	<i>in situ</i>	Laboratório	Nº Amostra	<i>in situ</i>	Laboratório
3	700	90	1	1250	115
28	1300	90	2	1000	95
33	1500	100	11	1050	90
48	1350	120	21	1550	105
53	1300	85	27	1750	135
63	1500	110	44	800	90
68	1000	100	55	1100	60
78	950	105	66	1000	100
83	950	110	107	1100	100
93	850	100	129	500	75
103	1100	120	134	350	65
108	1300	120	147	360	75
113	1350	140	182	250	75
123	1050	95	202	270	80
128	700	70	214	200	70
133	800	90	221	220	70
138	700	100	222	250	65
153	650	95	230	300	70
168	400	100			
183	500	100			
193	350	90			
198	400	85			
218	350	110			

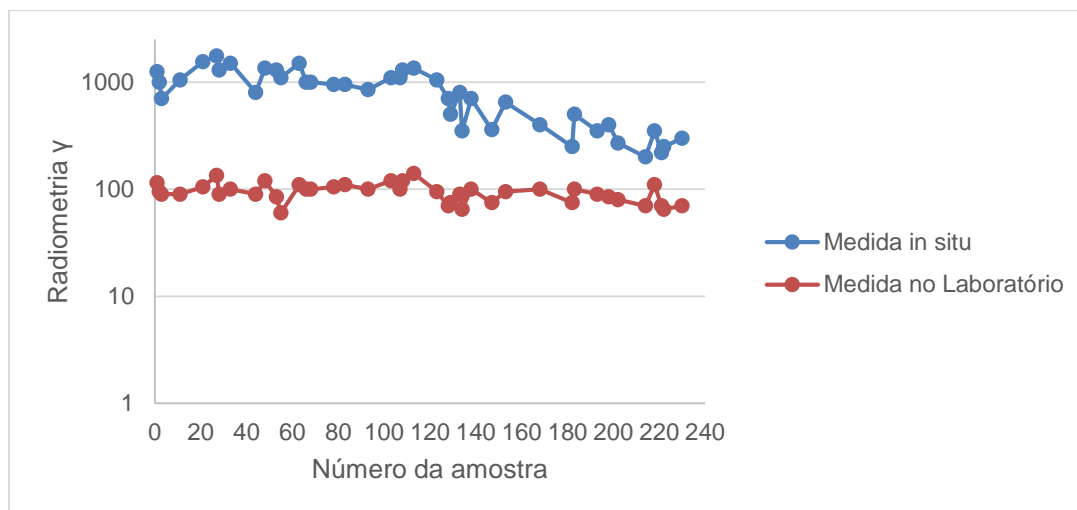


Figura 4.10- Radiação gama medidas *in situ* e em laboratório com escala logarítmica de base 10 integrando amostras de sedimentos e solos.

Analisou-se a possível correlação entre as medições de campo e as medições em laboratório com o coeficiente de *Pearson* e a representação em diagrama de dispersão. Verificou-se que a correlação entre as duas variáveis era de 0,67 o que indica boa correlação. Efetuou-se também um gráfico que apresenta a linha de regressão linear que permite uma melhor aproximação do conjunto de pontos a uma reta (figura 4.11).

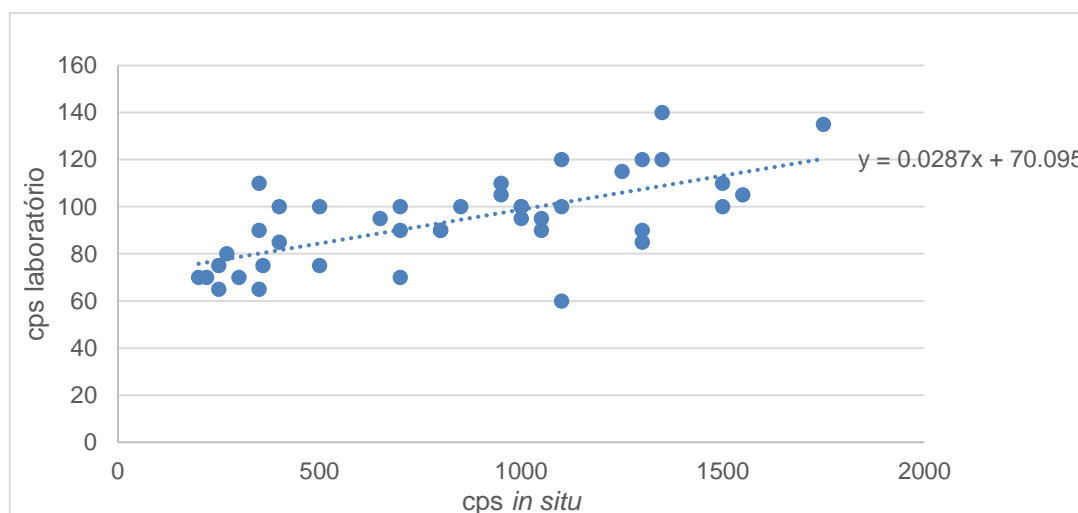


Figura 4.11- Correlação da radiação gama medida *in situ* e no laboratório.

Seguidamente, efetuou-se a análise da correlação entre a radiação gama medida, *in situ* e no laboratório, com os teores de urânio (figura 4.12). Verifica-se que a escala entre as duas variáveis é bastante diferente, sendo consideravelmente superior a que foi medida *in situ*, como esperado, em virtude dos efeitos de *background* local que incidem nas medições realizadas *in situ*, e que induzem incrementos nas medições que podem atingir as 10 vezes, conforme já referenciado.

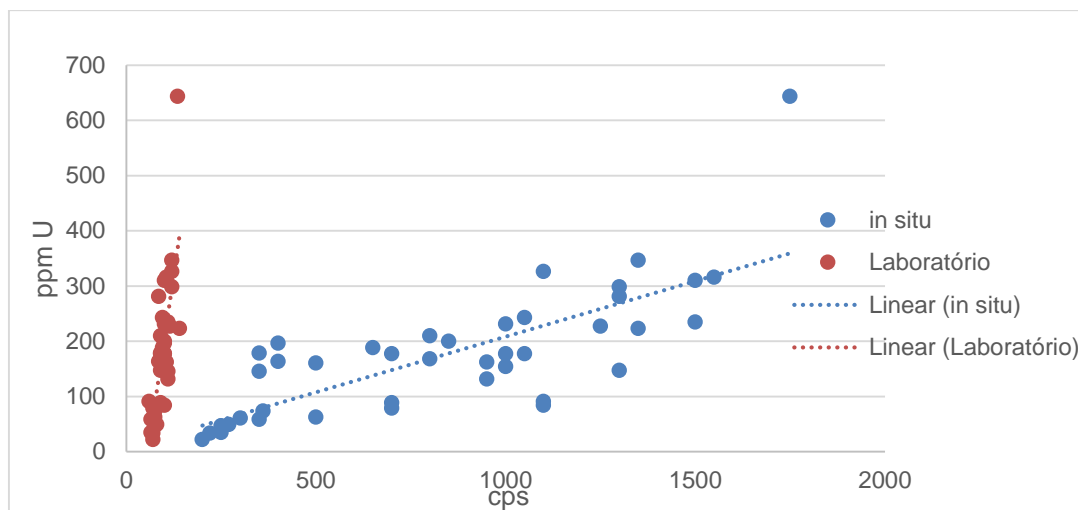


Figura 4.12- Correlação entre a radiação gama, medida *in situ* e em laboratório, com teor em urânio.

Procedeu-se novamente ao cálculo do coeficiente de *Pearson* desta vez para conhecer a correlação entre as radiometrias medidas *in situ* e em laboratório com os teores em urânio (tabela 4.2) Verificou-se que estes parâmetros apresentam uma correlação muito boa.

Tabela 4.2- Correlação entre a radiação gama e os teores em U.

	Radiometria gama medida <i>in situ</i> vs. teor em U	Radiometria gama medida no laboratório vs. teor em U
Coeficiente de <i>Pearson</i>	0,76	0,76

O facto destas correlações serem altas e iguais, significa que a medição de radiometria é um bom indicador da presença de urânio nas amostras e também que as medições de radiometria *in situ* e em laboratório são equivalentes embora desfasadas de uma constante. Estes resultados confirmam que este equipamento pode ser utilizado na prospeção de jazigos de urânio.

#### 4.4 GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS DE CORRENTE E SOLOS

Após a separação granulométrica em 8 classes, procedeu-se à análise por fluorescência de raios X. Analisaram-se as seguintes classes: [ $<63\mu\text{m}$ ], [ $63\mu\text{m}$ ;  $125\mu\text{m}$ ], [ $125\mu\text{m}$ ;  $250\mu\text{m}$ ], [ $250\mu\text{m}$ ;  $500\mu\text{m}$ ], [ $500\mu\text{m}$ ;  $1\text{mm}$ ], [ $1\text{mm}$ ;  $2\text{mm}$ ] e [ $2\text{mm}$ ;  $4\text{mm}$ ] de todas as amostras sendo que cada classe granulométrica foi analisada três vezes. Efetuou-se, no total, 882 leituras com o equipamento XRF sendo que a duração de cada leitura foi estabelecida pelo utilizador em 120 segundos.

Como referido anteriormente, a análise de fluorescência de raios X permitiu avaliar a concentração de 43 elementos químicos nas diferentes amostras. Após a observação dos resultados obtidos para os 43 elementos, verificou-se que seria útil a avaliação não só do elemento U como também de mais seis elementos que se destacaram por exibirem concentrações mais elevadas comparavelmente com o que é usual em solos e sedimentos associados a litologias análogas, mas na ausência de anomalias, e comparavelmente com os valores de clarke. Estes elementos são o arsénio (As), crómio (Cr), molibdénio (Mo), nióbio (Nb), vanádio (V) e zinco (Zn). De destacar, que do ponto de vista geoquímico, a diversidade de elementos selecionados para análise, tanto de origem máfica ou inclusivamente de possível origem sedimentar (exemplo do Cr, V e Mo) como tipicamente félsicos (como o U e o Nb) poderá ser justificada devido à ocorrência de uma auréola de metamorfismo resultante do contacto entre uma formação félsica (granito) com uma formação primariamente sedimentar e que veio originar os metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico que ocorrem no local.

#### 4.4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA UNIVARIADA

Primeiramente foi efetuada uma análise univariada que permitiu o conhecimento dos estatísticos básicos e da forma dos respetivos histogramas e *box-plot* para os diferentes elementos. Para além da análise com a totalidade das amostras, optou-se por realizar uma análise que exclui uma amostra de solo (amostra 27) que foi colhida junto a uma pilha de minério e deste modo provoca enviesamento de resultados e escalas de gráficos como se comprova pela comparação dos histogramas com e sem valor anómalo (figuras 4.13 a 4.26). A tabela 4.3 lista os estatísticos básicos dos sete elementos selecionados para o estudo.

#### Urânio

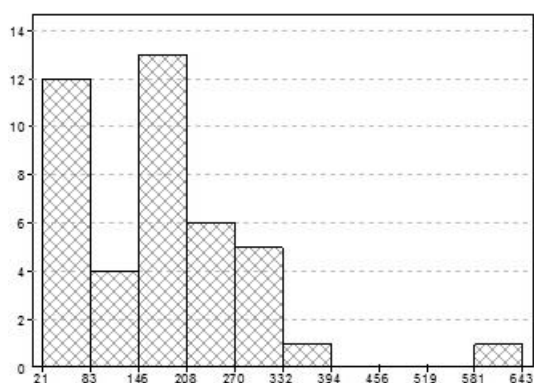


Figura 4.13- Histograma do U com a totalidade de amostras.

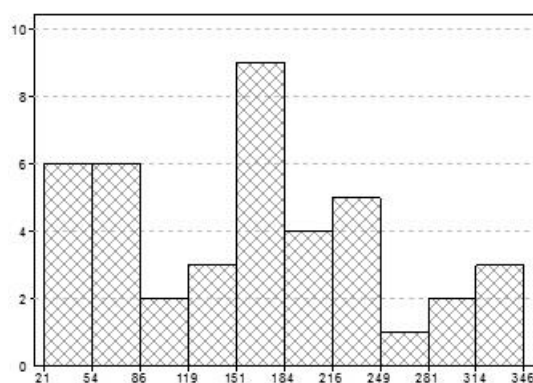


Figura 4.14- Histograma do U sem a amostra 27.

Arsénio

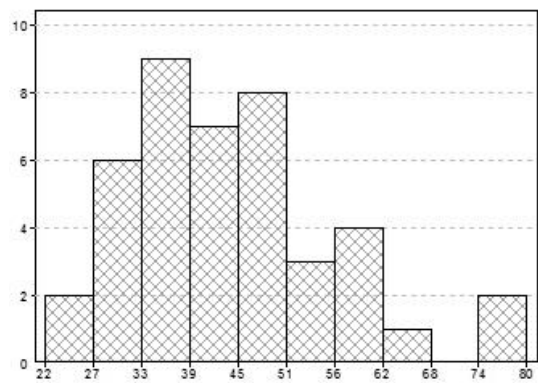


Figura 4.15- Histograma do As com a totalidade de amostras.

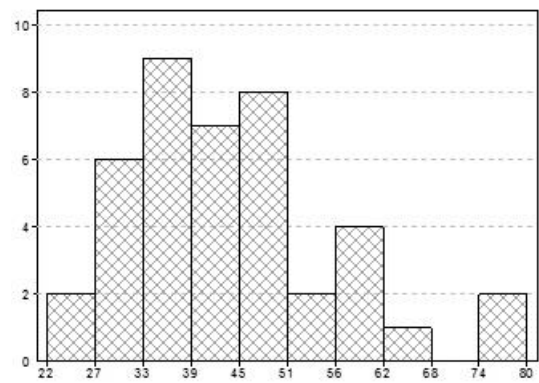


Figura 4.16- Histograma do As sem a amostra 27.

Crómio

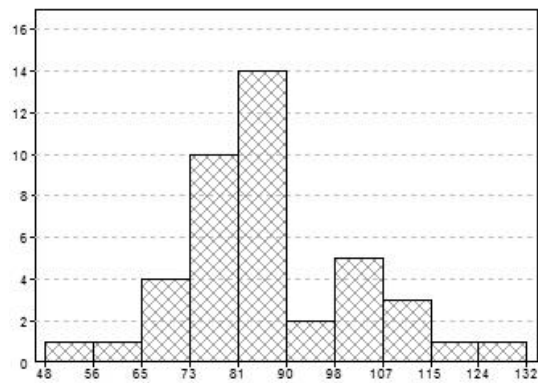


Figura 4.17- Histograma do Cr com a totalidade de amostras.

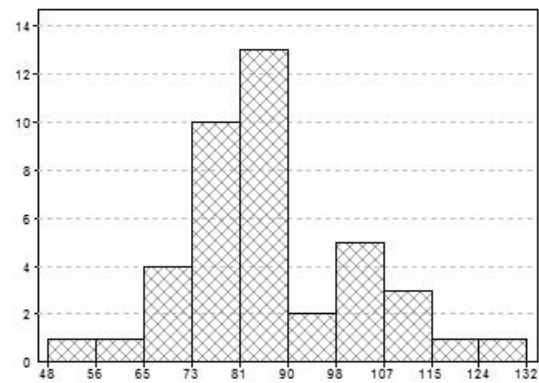


Figura 4.18- Histograma do Cr sem a amostra 27.

Molibdénio

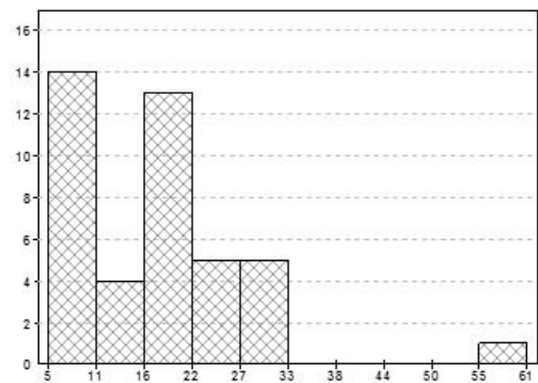


Figura 4.19- Histograma do Mo com a totalidade de amostras.

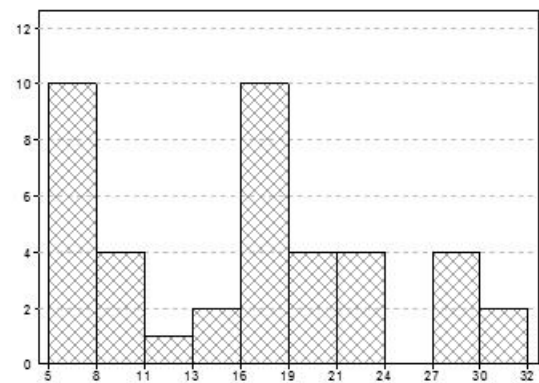


Figura 4.20- Histograma do Mo sem a amostra 27.

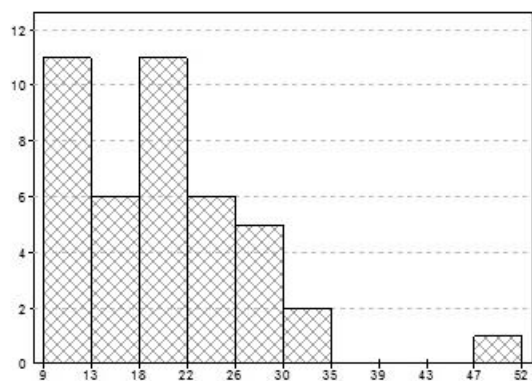
**Nióbio**

Figura 4.21- Histograma do Nb com a totalidade de amostras.

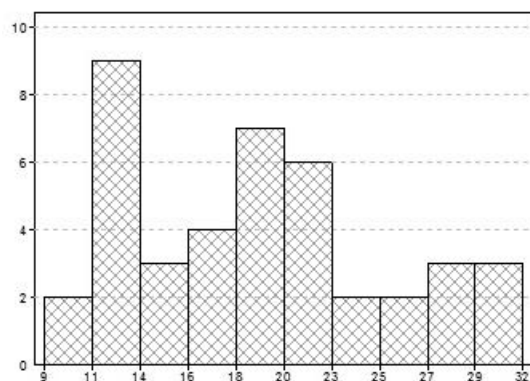


Figura 4.22- Histograma do Nb sem a amostra 27.

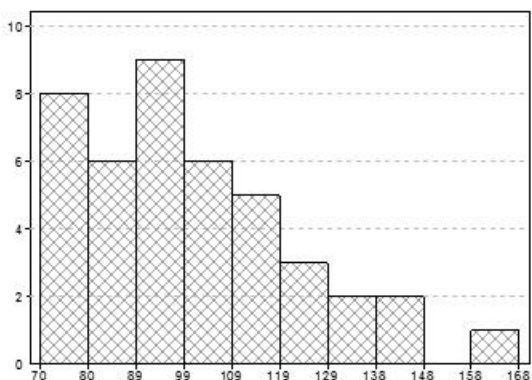
**Vanádio**

Figura 4.23- Histograma do V com a totalidade de amostras.

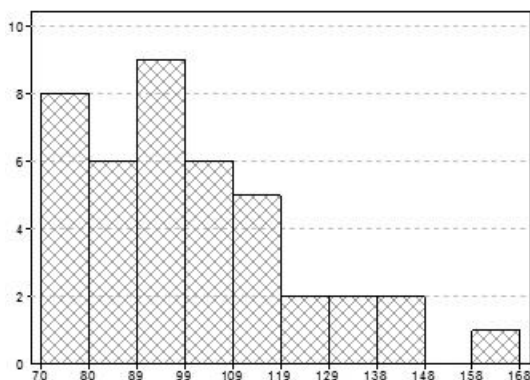


Figura 4.24- Histograma do V sem a amostra 27.

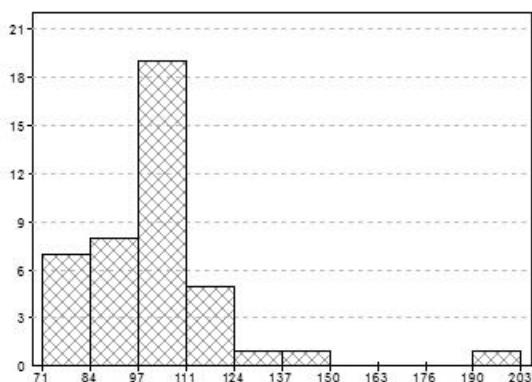
**Zinco**

Figura 4.25- Histograma do Zn com a totalidade de amostras.

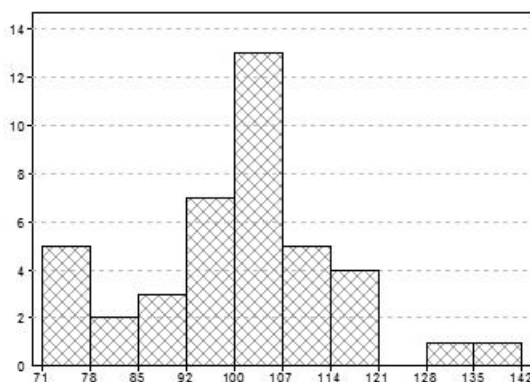


Figura 4.26- Histograma do Zn sem a amostra 27.

Tabela 4.3- Quadro resumo dos estatísticos básicos de posição central, dispersão e assimetria.

Estatísticos básicos								
		U	As	Cr	Mo	Nb	V	Zn
Posição Central	Média	172,3	44,4	86,9	17,5	20,5	102,0	102,7
	Mediana	167,9	41,3	84,4	17,4	19,7	98,3	102,0
Dispersão	$\sigma^2$	13584,01	161,72	253,30	110,33	61,98	469,06	462,62
	$\sigma$	116,55	12,72	15,92	10,50	7,87	21,66	21,51
	Cv	0,7	0,3	0,2	0,6	0,4	0,2	0,2
	IQR	148,4	14,8	19,0	14,0	11,0	31,6	13,4
	Máximo	643,4	80,3	132,7	61,2	52,1	168,2	203,2
	Mínimo	21,8	22,0	48,1	5,5	9,7	70,3	71,6
Assimetria	Cs	1,626	0,950	0,505	1,786	1,622	0,802	2,518

Tabela 4.4- Medidas de Assimetria dos dados sem a amostra 27.

Coeficientes de assimetria recalculados sem a amostra 27							
	U	As	Cr	Mo	Nb	V	Zn
Cs	0,257	1,014	0,484	0,295	0,329	0,867	0,238

Pela observação dos histogramas é possível verificar que todas as distribuições, independentemente de conter ou não a amostra 27, são enviesadas à esquerda ou com assimetria positiva ( $\text{Média} > \text{Mediana} > \text{Valor central da classe modal}$ ) como se confirma pela totalidade dos elementos apresentar valores positivos para o coeficiente de assimetria (*Skewness*). Com a exclusão da amostra 27, os coeficientes de assimetria mantiveram-se positivos no entanto com algumas alterações (tabela 4.4).

Os elementos U, Mo, Nb e Zn apresentavam valores elevados para o coeficiente de *Skewness* na primeira análise. Com a exclusão da amostra 27, os valores diminuíram significativamente tornando a representação destes elementos mais próxima de uma distribuição simétrica. Por outro lado, os coeficientes de assimetria dos elementos As e V aumentaram ligeiramente com a eliminação da amostra 27. Este facto indica que os teores de As e V nesta amostra não exibiam valores anómalos, pelo contrário, apresentavam valores padrão que permitiam uma distribuição de valores mais próxima do regular. O elemento Cr ostenta valores semelhantes para assimetria, o que indica que a amostra 27 retirada não exhibe um comportamento como *outlier* em termos de concentração em Cr.

Dos elementos selecionados o U é o que apresenta concentrações mais elevadas, com um máximo de 643,44 ppm e uma média de 172,3 ppm. O desvio padrão é também o mais elevado, comprovando-



se pela maior dispersão em torno da média. Os elementos com concentrações mais baixas são o Mo e o Nb, apresentando máximos de 61,2 ppm e 52,1 ppm e médias de 17,5 ppm e 20,5 ppm, respetivamente.

O coeficiente de variação é para todos os elementos inferior a 1, o que significa que o grau de dispersão das variáveis é relativamente baixo. O valor mais alto ocorre no elemento U (0,7) e o mais baixo nos elementos Cr, V e Zn (0,2).

No contexto deste estudo, a proximidade de uma população de dados a uma distribuição menos assimétrica reflete a inexistência ou pouca prevalência de *outliers* e, portanto, um padrão comportamental que será mais regular. Numa situação em que se encontram em análise as anomalias geoquímicas naturais de solos e sedimentos numa dada área, sem efeitos de contaminação *propriamente dita*, uma abordagem em que sejam reconhecidos e eliminados os *outliers* mais expressivos que não correspondam em termos líticos aos objeto de estudo – neste caso de solos e sedimentos - poderá ser útil para se reconhecer, selecionar e estabelecer valores de referência efetivamente aplicáveis aos solos e sedimentos em questão. A identificação de maiores efeitos de assimetria serve para a identificação de área anómala, sendo que no caso de estudo os valores totais incluíam uma amostra de minério, pelo que para análise do perfil geoquímico das observações realizadas e para que tais observações sejam representativas dos valores típicos de solos e sedimentos da área estudada é adequado completar a análise dos dados sem o referido *outlier* de modo a evitar enviesamento dos resultados e dos valores que sejam tidos como referencia em termos geoquímicos.

De seguida foi efetuado, para cada elemento, o *box-plot* respeitante a cada fração granulométrica que permite avaliar a variação de teores por dimensão das partículas com a variante de se ter excluído a amostra 27 (figura 4.27 a 4.40).

As classes estão numeradas de 1 a 7, sendo o 1 o identificador da classe mais fina e o 7 da mais grosseira. Deste modo, o 1 corresponde a frações [ $<63\mu\text{m}$ ], o 2 a [ $63\mu\text{m}$ ;  $125\mu\text{m}$ ], o 3 a [ $125\mu\text{m}$ ;  $250\mu\text{m}$ ], o 4 a [ $250\mu\text{m}$ ;  $500\mu\text{m}$ ], o 5 a [ $500\mu\text{m}$ ;  $1\text{mm}$ ], o 6 a [ $1\text{mm}$ ;  $2\text{mm}$ ] e o 7 a [ $2\text{mm}$ ;  $4\text{mm}$ ].

### Urânio

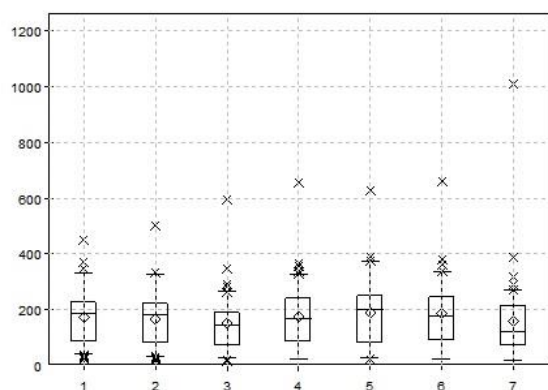


Figura 4.27- *Box-plot* do U por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

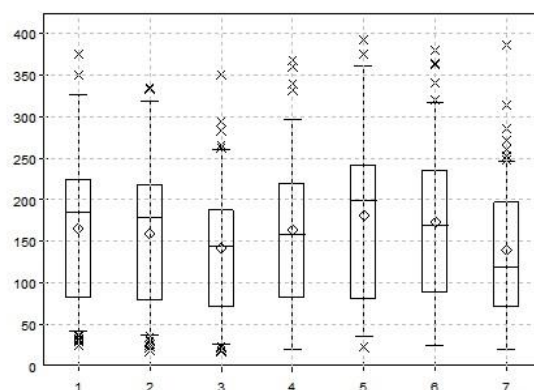


Figura 4.28- *Box-plot* do U por frações granulométricas sem amostra 27.

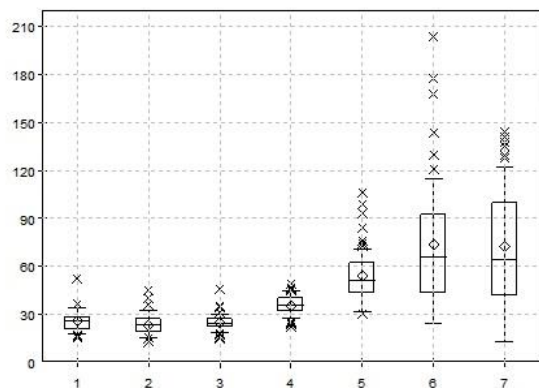
**Arsênio**

Figura 4.29- *Box-plot* do As por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

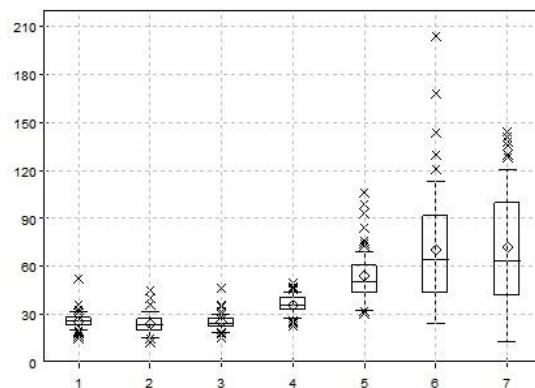


Figura 4.30- *Box-plot* do As por frações granulométricas sem amostra 27.

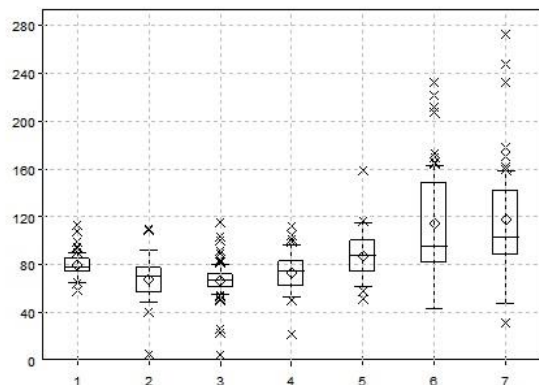
**Crômio**

Figura 4.31- *Box-plot* do Cr por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

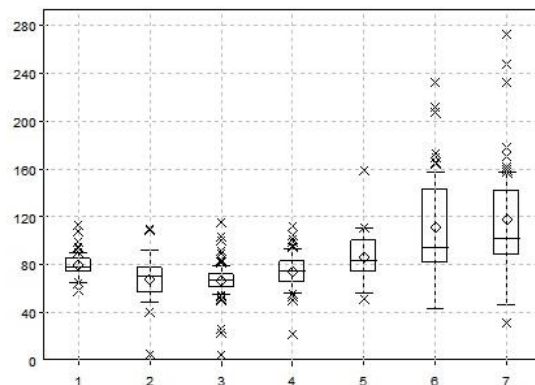


Figura 4.32- *Box-plot* do Cr por frações granulométricas sem amostra 27.

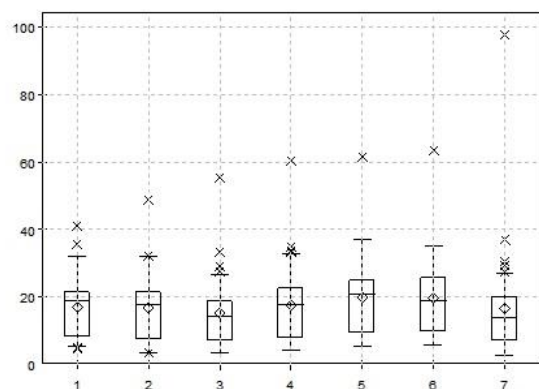
**Molibdênio**

Figura 4.33- *Box-plot* do Mo por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

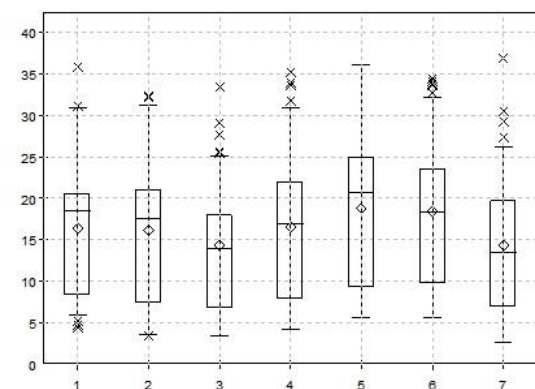


Figura 4.34- *Box-plot* do Mo por frações granulométricas sem amostra 27.

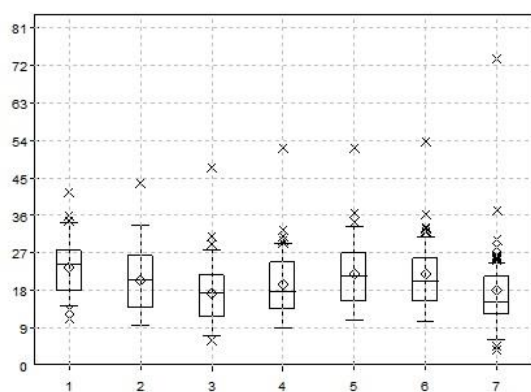
**Nióbio**

Figura 4.35- *Box-plot* do Nb por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

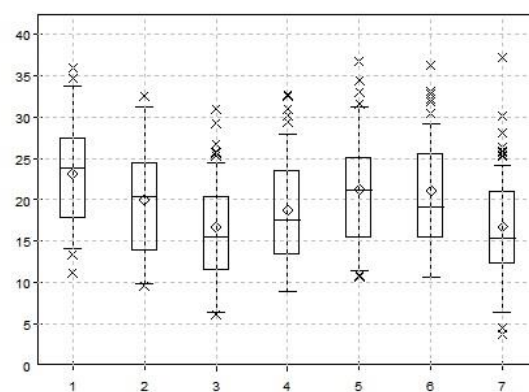


Figura 4.36- *Box-plot* do Nb por frações granulométricas sem amostra 27.

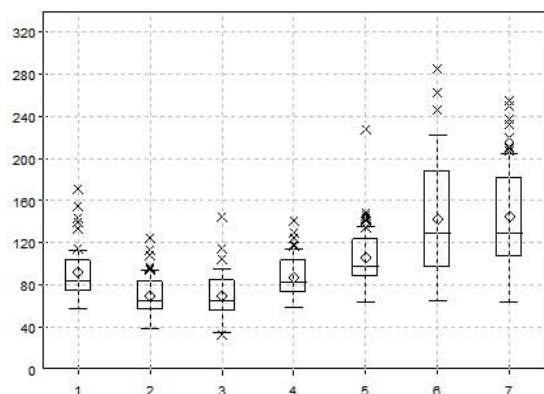
**Vanádio**

Figura 4.37- *Box-plot* do V por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

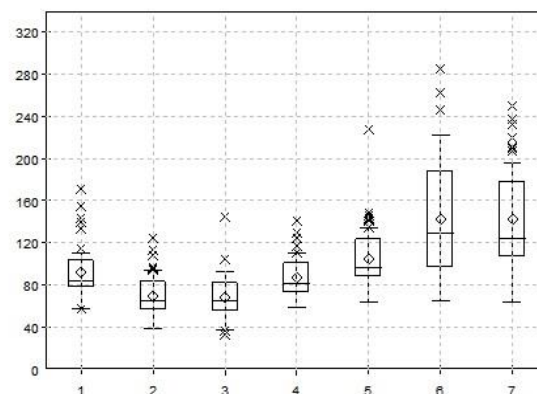


Figura 4.38- *Box-plot* do V por frações granulométricas sem amostra 27.

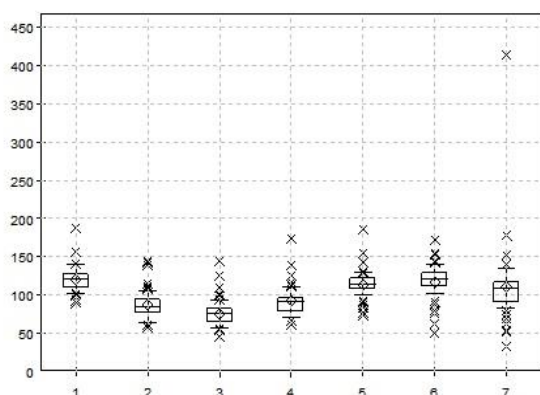
**Zinco**

Figura 4.39- *Box-plot* do Zn por frações granulométricas com a totalidade de amostras.

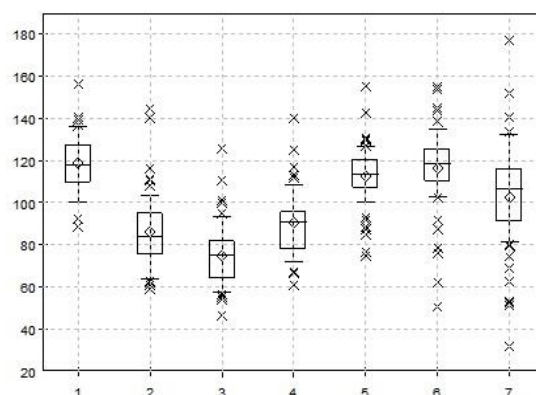


Figura 4.40- *Box-plot* do Zn por frações granulométricas sem amostra 27.

## CAPÍTULO 4

A primeira análise que pode ser realizada é a comparação dos *box-plots* com e sem a amostra 27, tal como referido com a observação dos histogramas, a amostra 27 não constitui um *outlier* para os elementos As, Cr e V sendo que os seus *box-plots* se mantêm muito semelhantes. Por outro lado, os *box-plots* dos elementos U, Mo, Nb e Zn apresentam variações em consequência na mudança do máximo da escala quando é retirada esta amostra.

Relativamente às diferenças de teores por classe granulométrica é possível conferir que o elemento U (figura 4.27 e 4.28) não apresenta segregação de teores por classe granulométrica. Tal como o urânio, o comportamento dos elementos Mo e Nb não ostenta grande disparidade de teores nas diferentes granulometrias (figuras 4.33 a 4.36). Igualmente, o Zn não apresenta alterações significativas segundo as diferentes granulometrias (figuras 4.39 e 4.40).

Já o elemento As apresenta teores mais elevados para as classes granulométricas superiores, identificadas por 5, 6 e 7 (figuras 4.29 e 4.30), o elemento Cr exhibe valores superiores nas granulometrias mais grosseiras sinalizadas com os números 6 e 7 (figuras 4.31 e 4.32) e elemento V exhibe teores mais elevados nas classes granulométricas 6 e 7 (figuras 4.37 e 4.38).

Deste modo é possível verificar algumas tendências e semelhanças no comportamento de certos elementos podendo, inclusivamente, agrupá-los em dois grupos: os que não apresentam segregação por classe granulométrica e os que apresentam teores superiores para as granulometrias mais grosseiras. No primeiro grupo inclui-se os elementos U, Mo, Nb e Zn e no segundo grupo os restantes elementos: As, Cr e V.

### 4.4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA BIVARIADA

Executou-se uma análise bivariada de forma a permitir o conhecimento da dependência e comportamento dos diferentes elementos selecionados na área em estudo.

Primeiramente foi elaborada uma matriz de correlação para verificar as interdependências entre os diferentes elementos (tabela 4.5). Os números acima da diagonal principal correspondem ao coeficiente de *Spearman* e os abaixo ao coeficiente de *Pearson*.

Tabela 4.5- Matriz de correlação dos 7 elementos de interesse e legenda.

	U	As	Cr	Mo	Nb	V	Zn
U	1,000	-0,129	-0,321	0,983	0,980	-0,148	0,576
As	-0,010	1,000	0,617	-0,047	-0,196	0,566	-0,149
Cr	-0,213	0,638	1,000	-0,237	-0,369	0,626	0,108
Mo	0,995	0,037	-0,159	1,000	0,967	-0,094	0,615
Nb	0,988	-0,068	-0,209	0,987	1,000	-0,187	0,614
V	-0,052	0,652	0,599	-0,028	-0,070	1,000	-0,109
Zn	0,713	-0,049	0,102	0,729	0,753	0,041	1,000

Excelente correlação	[-1; -0,8[ u ]0,8; 1]
Muito boa correlação	[-0,8; -0,7[ u ]0,7; 0,8]
Boa correlação	[-0,7; -0,6[ u ]0,6; 0,7]
Fraca correlação	[-0,6; -0,5[ u ]0,5; 0,6]
Correlação ausente	[-0,5; 0,5]

Os pares de elementos que apresentam excelente correlação são os U/ Mo, U/ Nb e Mo/ Nb (e com coeficiente de *Pearson* superior ao de *Spearman*); os pares de elementos com muito boa correlação são o Zn/ U, Zn/ Mo e Zn/ Nb, também com o coeficiente de *Pearson* superior ao de *Spearman*.

Com boa correlação pode-se identificar os pares de elementos: As/ Cr, As/ V e V/ Cr. A correlação entre o V/ Cr apresenta um coeficiente de *Spearman* superior ao de *Pearson* o que indica que existe uma relação de grandeza das variáveis mas não linear. Alguns *outliers* podem estar a degradar a correlação.

Após a análise da matriz de correlação efetuaram-se diagramas de dispersão para a totalidade dos elementos (figura 4.41) sendo que apenas os elementos com excelente e muito boa correlação foram analisados com maior pormenor (figura 4.42).

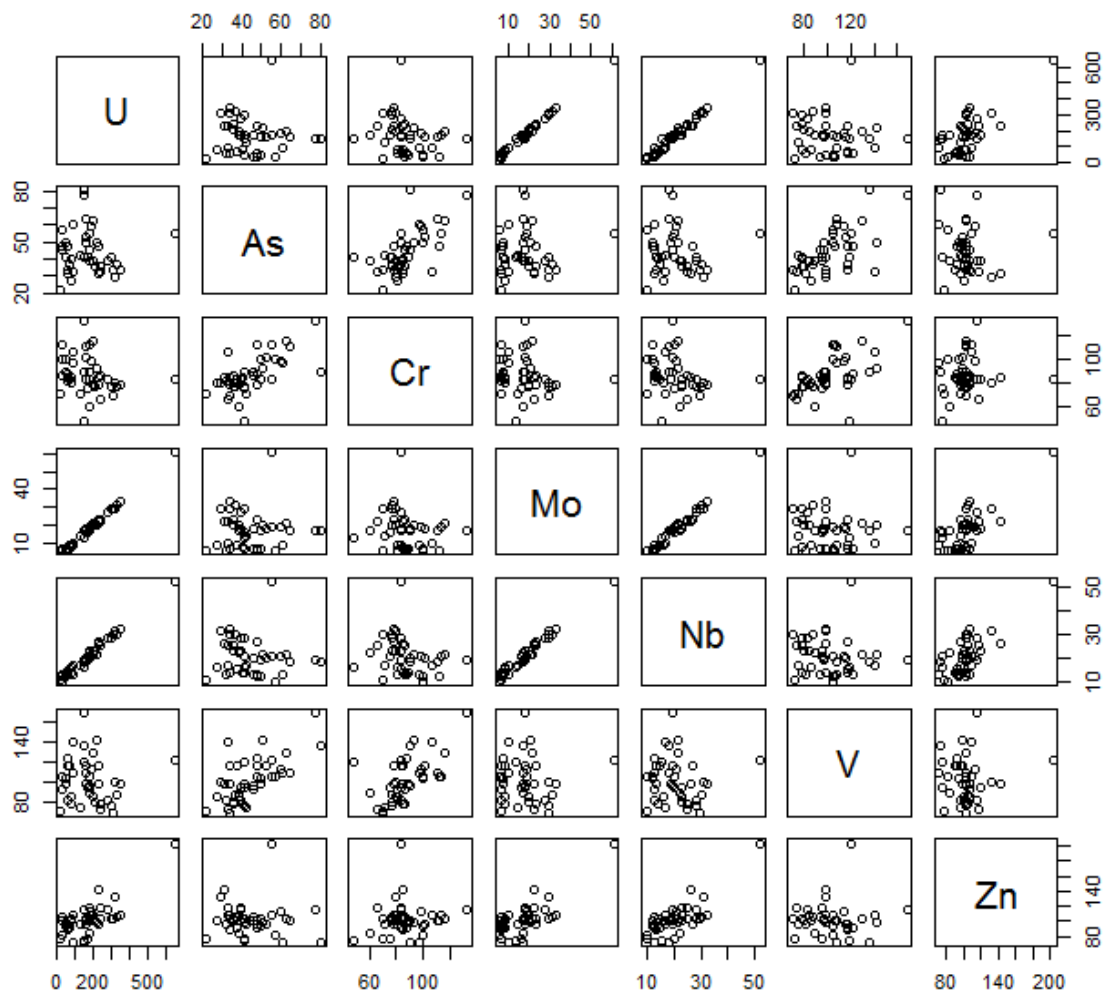


Figura 4.41- Matriz de diagramas de dispersão entre os elementos U, As, Cr, Mo, Nb, V e Zn

Como já referido, os coeficientes de *Pearson* para este grupo de variáveis são superiores ao de *Spearman*. O coeficiente de *Spearman* é menos sensível do que o de *Pearson* a valores muito distantes do esperado, tal é verificado através da grande concentração de pontos numa nuvem e apenas um valor anómalo, respeitante à amostra colhida junto a uma pilha de minério. É possível verificar que os pontos nos diagramas de dispersão com excelente correlação (U/Mo, U/Nb, Mo/Nb) se encontram menos dispersos quando comparados com os diagramas de dispersão com muito boa correlação (Zn/U, Zn/Mo, Zn/Nb).

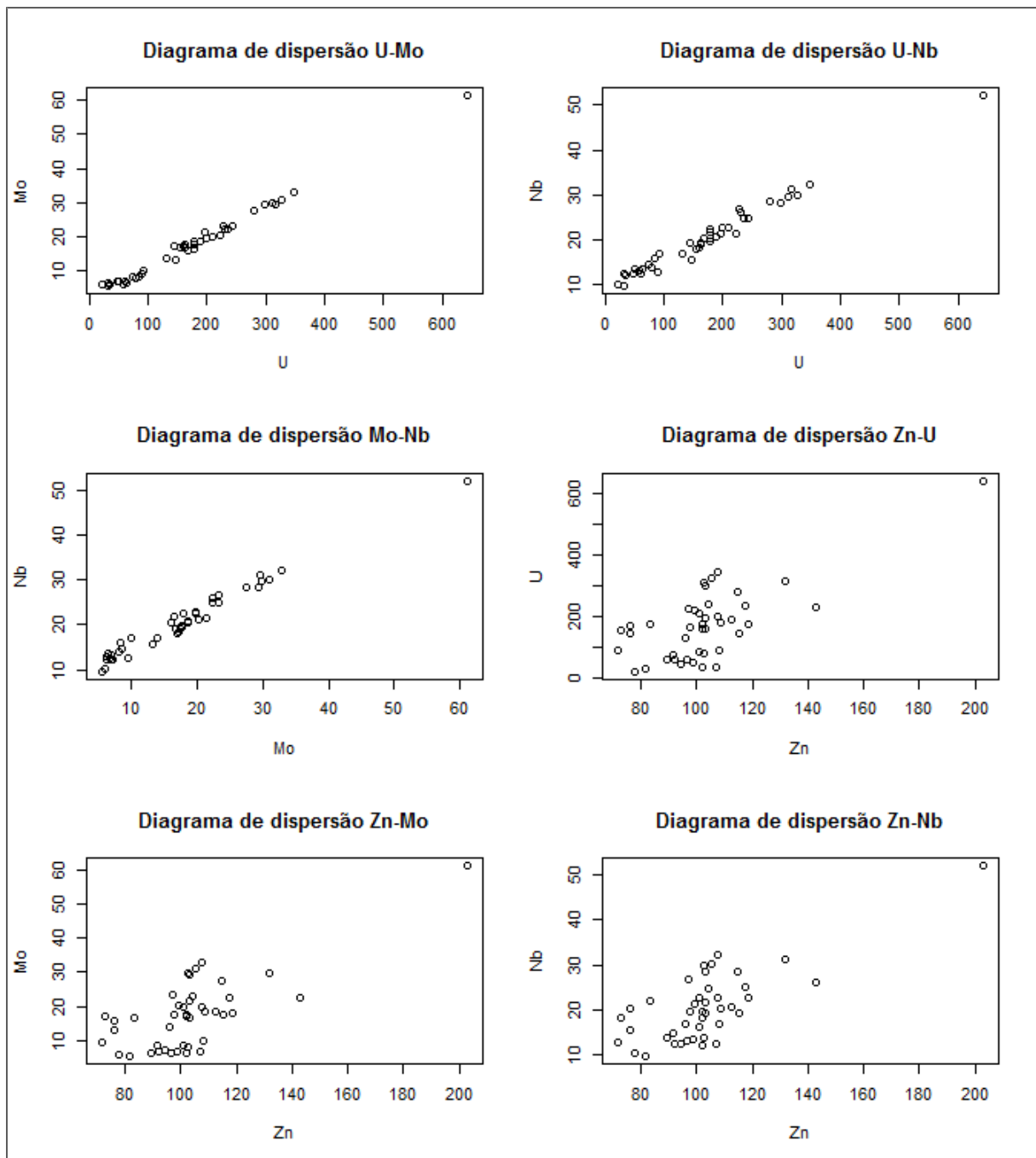


Figura 4.42- Diagramas de dispersão das correlações entre U-Mo, U-Nb, Mo-Nb, Zn-U, Zn-Mo, Zn-Nb com a totalidade das amostras.

A estes valores está sempre associado uma incerteza e devido ao coeficiente de *Pearson* ser superior ao de *Spearman*, alguns pares de valores anómalos podem estar a contruir uma correlação artificial entre as variáveis que globalmente não têm correlação provocando um enviesamento de resultados. Deste modo, realizou-se novamente uma análise estatística bivariada com a variante de se excluir a amostra 27 que constitui um *outlier* para estes elementos (U, Mo, Nb e Zn). Esta análise tem o intuito de se verificar se de facto esta amostra está a construir uma correlação artificial entre os elementos mencionados.

## CAPÍTULO 4

Na análise da tabela 4.6 verifica-se, como esperado que as correlações entre os elementos As, Cr e V se mantêm semelhantes pois esta amostra não constitui um *outlier* para estes elementos. Foram então apenas analisadas as correlações que na análise anterior ostentavam uma excelente e muito boa correlação.

Tabela 4.6- Matriz de correlação dos elementos de interesse sem amostra 27 e legenda.

	U	As	Cr	Mo	Nb	V	Zn
U	1,000	-0,184	-0,325	0,981	0,979	-0,210	0,544
As	-0,125	1,000	0,628	-0,098	-0,254	0,549	-0,206
Cr	-0,249	0,649	1,000	-0,237	-0,374	0,641	0,119
Mo	0,992	-0,067	-0,181	1,000	0,965	-0,154	0,586
Nb	0,981	-0,200	-0,243	0,978	1,000	-0,252	0,585
V	-0,185	0,646	0,610	-0,160	-0,206	1,000	-0,170
Zn	0,464	-0,220	0,187	0,479	0,547	-0,092	1,000

Mantém correlação
Diminui correlação

É então possível verificar que as correlações entre os pares de elementos Zn /U, Zn/ Mo e Zn/ Nb diminuíram substancialmente sendo que as restantes mantiveram valores semelhantes aos da análise anterior. Pode se observar estas variações graficamente através da figura 4.43.



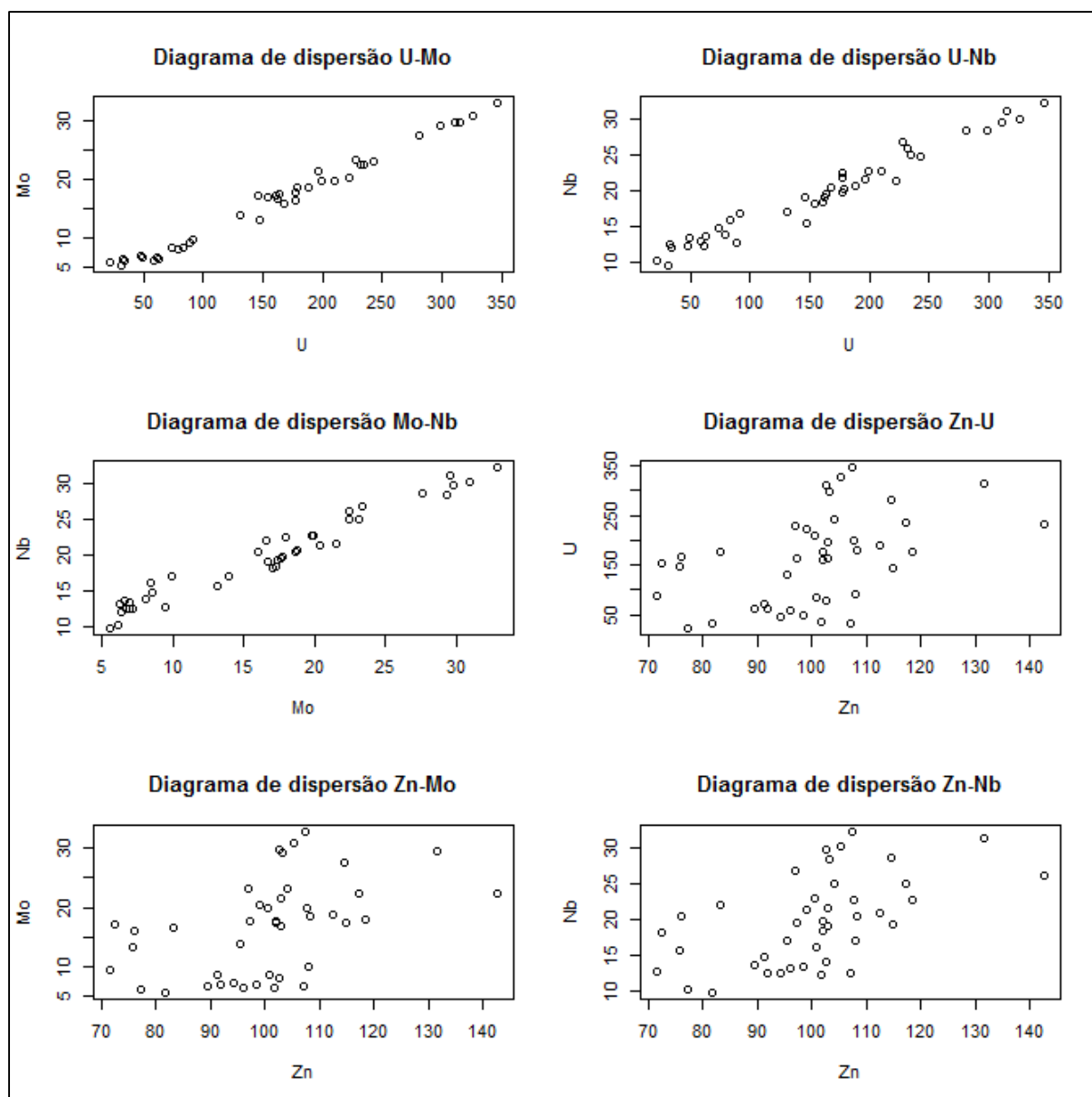


Figura 4.43- Diagramas de dispersão das correlações entre U-Mo, U-Nb, Mo-Nb, Zn-U, Zn-Mo, Zn-Nb sem a amostra 27.

Verifica-se que os diagramas de dispersão de U/ Mo, U/ Nb, Mo/ Nb se mantêm muito bem correlacionados. Pelo contrário, os diagramas de dispersão que incluem o elemento Zn alteraram-se significativamente ostentando uma nuvem de pontos mais dispersa sugerindo uma fraca correlação. Esta situação indica que de facto, a amostra 27 estaria a construir uma correlação artificial do elemento Zn com o U, Mo e Nb.

Assim, através da análise bivariada sem a amostra 27 verificou-se que as correlações entre os pares de elementos descritas na 1ª fase não estariam totalmente corretos.

O grupo formado pelos elementos As, Cr e V mantém-se mas constata-se que estes elementos não apresentam uma correlação muito forte. Por outro lado, o grupo formado por os elementos U, Mo, Nb

## CAPÍTULO 4

e Zn é separado, formando um grupo apenas com os elementos U, Mo e Nb. O elemento Zn ostenta um comportamento único, não apresentando correlação com os restantes elementos.

Em síntese, os sete elementos estudados permitem a formação de 3 grupos. O primeiro grupo é constituído por os elementos U, Mo e Nb que apresentam uma excelente correlação entre si. O segundo grupo é formado por os elementos As, Cr e V que exibem uma boa a fraca correlação entre si. Por último, o elemento Zn ostenta um comportamento particular que não exhibe correlação com nenhum outro elemento.

Esta situação será confirmada com auxílio da Análise em Componentes Principais (ACP) no subcapítulo seguinte.

### 4.4.3 ACP E INTERPRETAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES ENCONTRADAS

Efetuarão-se três execuções da ACP para estudar o comportamento dos vários elementos entre si e na relação com os solos e sedimentos e frações granulométricas. As duas primeiras foram efetuadas com os sete elementos de interesse (U, As, Cr, Mo, Nb, V e Zn) a fim de avaliar a dispersão em solos e sedimentos (com e sem amostra 27). A terceira corrida incluía os 7 elementos já mencionados, com a variante de se ter analisado por frações granulométricas (sem amostra 27). Os primeiros resultados estão apresentados nas tabelas 4.7 e 4.8 e nas figuras 4.44 e 4.45.

Tabela 4.7- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP com 7 CP, valores próprios, percentagem explicação e percentagem acumulada.

	<b>Valor Próprio</b>	<b>% Explicação</b>	<b>% Explicação cumulativa</b>
<b>1</b>	3,64	51,97	51,97
<b>2</b>	2,25	32,08	84,05
<b>3</b>	0,57	8,07	92,13
<b>4</b>	0,37	5,32	97,45
<b>5</b>	0,17	2,39	99,84
<b>6</b>	0,01	0,12	99,96
<b>7</b>	0,00	0,04	100,00

Tabela 4.8- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de *Pearson*) correlação entre os eixos e os elementos químicos.

Elementos	Eixos Fatoriais						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>U</b>	0,98	0,08	-0,15	-0,03	0,08	-0,04	-0,04
<b>As</b>	-0,12	0,87	-0,33	-0,29	-0,20	0,01	0,00
<b>Cr</b>	-0,24	0,83	0,39	-0,20	0,22	0,00	0,00
<b>Mo</b>	0,98	0,13	-0,13	-0,06	0,07	-0,03	0,04
<b>Nb</b>	0,99	0,05	-0,07	0,00	0,09	0,08	0,00
<b>V</b>	-0,13	0,85	-0,13	0,49	0,02	0,00	0,00
<b>Zn</b>	0,81	0,21	0,49	0,07	-0,25	0,00	0,00

Recorrendo ao critério de percentagem de explicação das componentes principais, sabe-se que os valores próprios têm de ser maiores que 1 e a percentagem explicativa cumulativa superior a 70%. Tendo em conta as restrições impostas e a contribuição dos 7 elementos nos diferentes eixos, é necessário apenas 2 eixos fatoriais para explicar o grau de dependência entre as variáveis (tabela 4.7 e 4.8).

As circunferências seguintes representam os valores de máxima correlação [-1, 1]. Os valores que estão mais perto do centro da circunferência são os que têm pouca ou nenhuma correlação, normalmente esses valores são explicados por eixos de ordem maior.

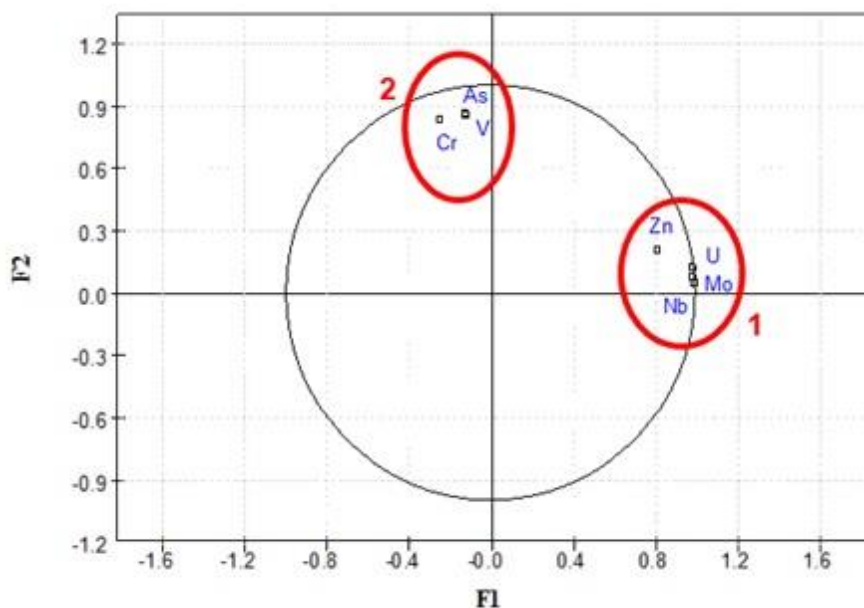


Figura 4.44- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos F1 e F2.

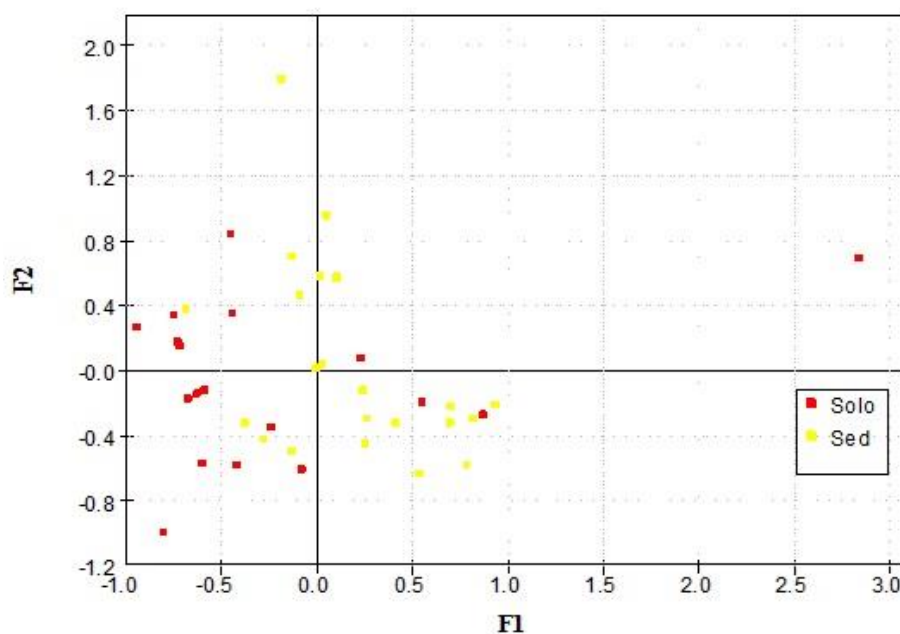


Figura 4.45- Projeção das observações separadas por solos e sedimentos no 1º plano fatorial da ACP, F1 e F2.

É possível verificar a existência dos dois grupos de elementos assinalados com os números 1 e 2 (figura 4.44). No primeiro grupo, grupo 1, (bem correlacionado com o eixo 1) encontram-se os elementos U, Mo, Nb e Zn, encontrando-se o último ligeiramente mais afastado. No segundo grupo, grupo 2, (bem correlacionado com o eixo 2) localizam-se os elementos Cr, As e V. De referir que estes dois agrupamentos de variáveis correspondem aos grupos já anteriormente interpretados na análise bivariada e discutidas onde se teve em consideração a totalidade das amostras.

#### 4. CASO DE ESTUDO

Através da projeção das observações no 1º plano fatorial (figura 4.45) observa-se que as concentrações tanto do grupo 1 como do grupo 2 são superiores em sedimentos do que em solos, pois estes tendem a estar representados à direita e na parte superior. Verifica-se a presença de uma amostra de solo muito distante da nuvem de pontos, para a direita. Esta amostra corresponde à amostra 27 colhida junto à pilha de minério e tem valores anómalos dos elementos que constituem o grupo 1.

De seguida realizou-se uma segunda ACP excluindo a amostra 27 para verificar o caso do elemento Zn (tabela 4.9 e 4.10 e figuras 4.46 a 4.49).

Tabela 4.9- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP com 7 CP, valores próprios, percentagem explicativa e acumulada, sem a amostra 27.

	Valor Próprio	% Explicação	% Explicação acumulada
1	3,52	50,24	50,24
2	2,06	29,40	79,64
3	0,87	12,44	92,08
4	0,38	5,37	97,45
5	0,16	2,29	99,74
6	0,01	0,19	99,93
7	0,00	0,07	100,00

Tabela 4.10- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de *Pearson*) correlação entre os eixos e os elementos químicos sem a amostra 27.

Elementos	Eixos Fatoriais						
	1	2	3	4	5	6	7
U	0,94	0,27	-0,21	0,00	0,04	-0,06	-0,04
As	-0,42	0,76	-0,34	-0,29	-0,22	0,01	0,00
Cr	-0,42	0,77	0,34	-0,20	0,26	0,00	0,00
Mo	0,92	0,33	-0,19	-0,05	0,05	-0,03	0,05
Nb	0,96	0,25	-0,10	0,04	0,05	0,10	-0,01
V	-0,44	0,74	-0,12	0,50	-0,01	0,00	0,00
Zn	0,58	0,31	0,73	0,04	-0,20	-0,01	0,00

## CAPÍTULO 4

Os dois primeiros eixos fatoriais explicam cerca de 80%, o que nos indica que apenas é necessário considerar estes dois eixos para a análise (tabela 4.9). No entanto, considerou-se também o eixo fatorial 3 visto que o elemento Zn apenas se encontra bem explicado no terceiro eixo como se pode verificar pelo valor do elemento atribuído aos diferentes eixos (tabela 4.10).

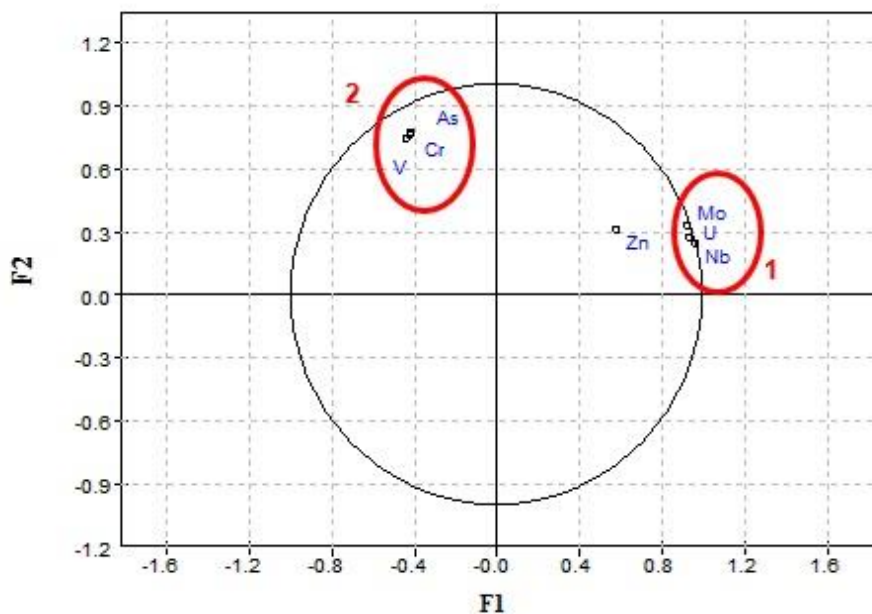


Figura 4.46- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27, com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.

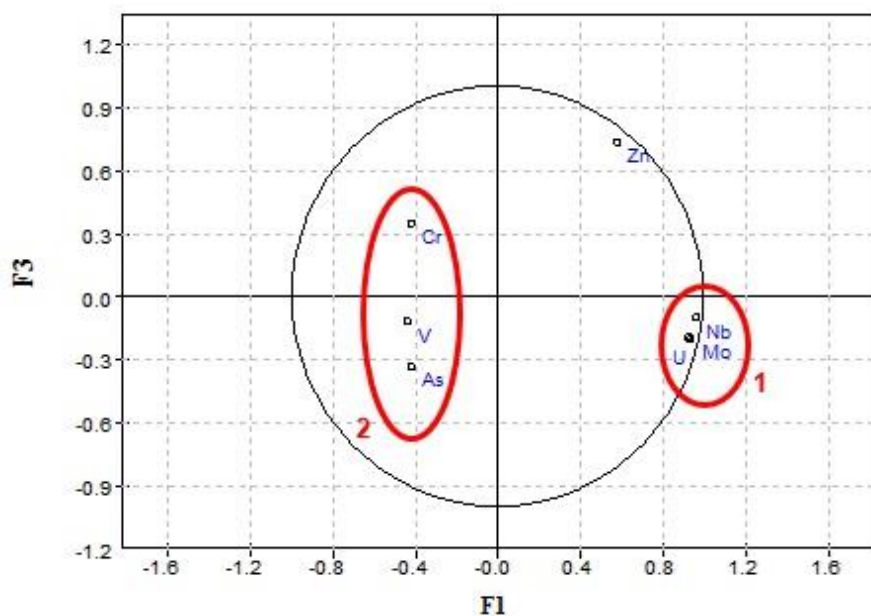


Figura 4.47- Projeção das variáveis no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 com marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.

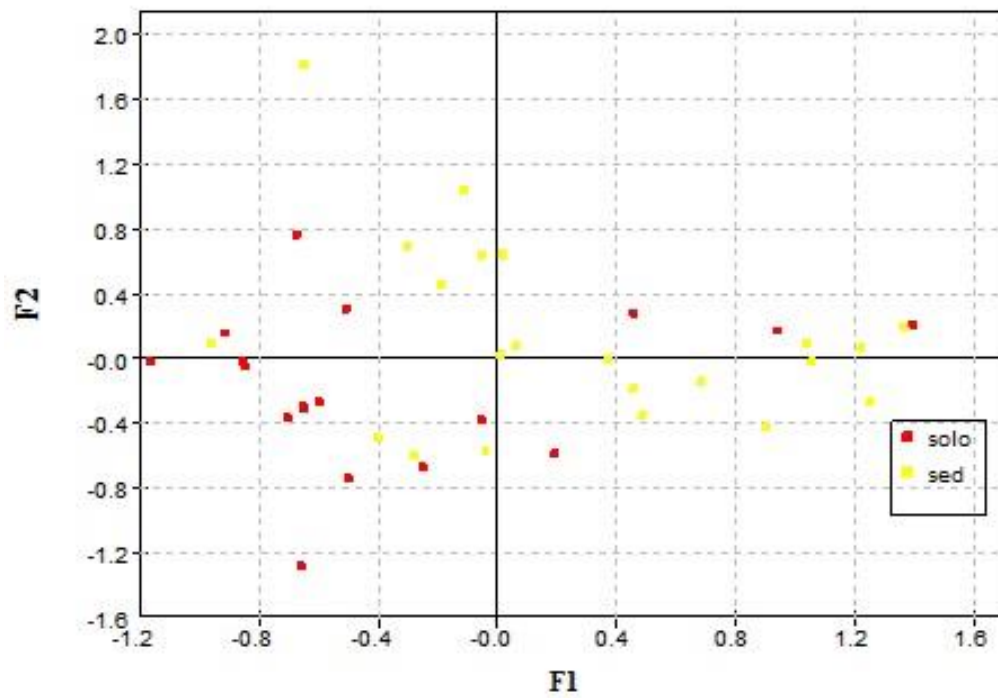


Figura 4.48- Projeção das observações no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27, CP1 e CP2.

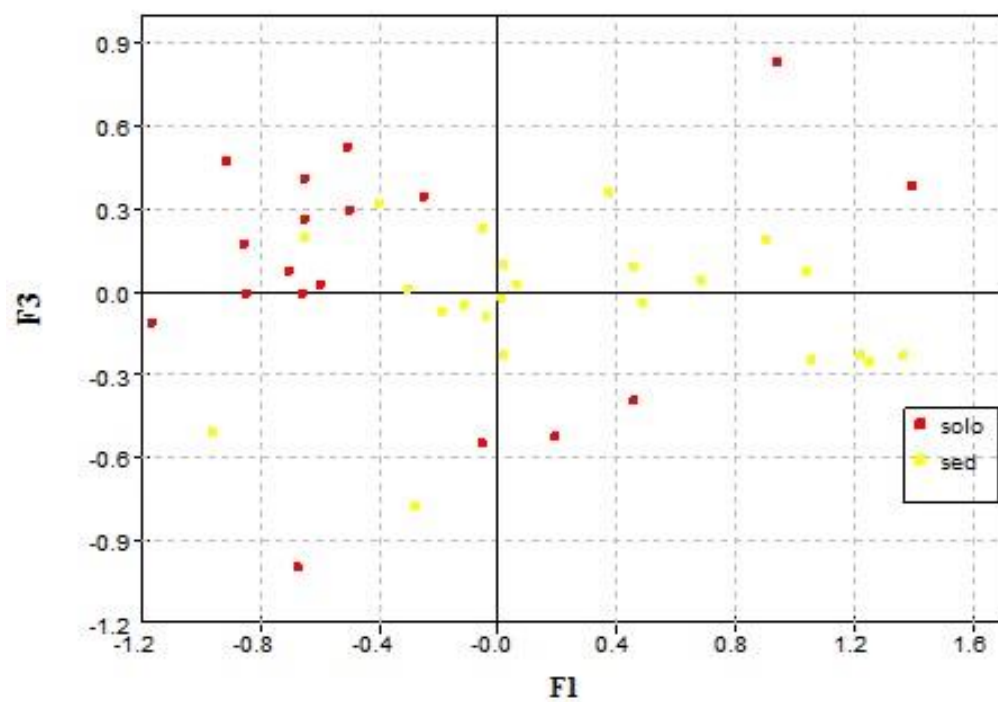


Figura 4.49- Projeção das observações no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27, CP1 e CP2.

## CAPÍTULO 4

Tal como as restantes análises sem a amostra 27, é possível confirmar que o elemento Zn apresenta um comportamento particular não estando correlacionado com as restantes amostras (facto comprovado por ser explicado sozinho no eixo fatorial 3). Os restantes grupos continuam preservados.

Na projeção das variáveis no 2º plano fatorial (figura 4.47) os elementos do grupo 2 aparecem distanciados. Este acontecimento não está relacionado com a desagregação do grupo, mas sim devido a este grupo ser explicado no eixo 2 (que não está contemplado neste plano fatorial).

Relativamente à projeção das observações no 1º e 2º plano fatorial (figura 4.48 e 4.49) confirma-se que as concentrações tanto do grupo 1 como do grupo 2 são superiores em sedimentos do que em solos, pois estes apresentam-se à direita e na parte superior. Esta situação já era visível na análise com a amostra 27. Relativamente ao eixo fatorial 3, onde o elemento Zn se encontra bem correlacionado, é verificado que os sedimentos também se correlacionam melhor o que indica que as suas concentrações no elemento Zn serão superiores quando comparadas com as concentrações em solos.

A terceira análise, como referido anteriormente, corresponde à projeção das observações onde se separam os teores por fração granulométrica sem a amostra 27 (tabela 4.11 e 4.12 e figuras 4.50-4.53).

Tabela 4.11- Informação sobre os eixos fatoriais resultantes da ACP sem a amostra 27 e com separação por granulometrias com 7 CP, valores próprios, percentagem explicativa e acumulada.

	<b>Valor Próprio</b>	<b>% Explicação</b>	<b>% Explicação acumulada</b>
<b>1</b>	3,22	45,98	45,98
<b>2</b>	2,76	39,41	85,39
<b>3</b>	0,63	8,95	94,33
<b>4</b>	0,20	2,85	97,18
<b>5</b>	0,16	2,22	99,40
<b>6</b>	0,03	0,44	99,83
<b>7</b>	0,01	0,17	100,00



Tabela 4.12- Contribuição dos elementos para a construção dos eixos fatoriais (coeficiente de *Pearson*) correlação entre os eixos e os elementos químicos sem a amostra 27 e com separação por granulometrias.

Elementos	Eixos Fatoriais						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>U</b>	0,90	-0,37	-0,20	0,01	-0,02	0,07	0,07
<b>As</b>	0,31	0,86	-0,25	-0,21	0,23	-0,03	0,01
<b>Cr</b>	0,26	0,89	-0,04	0,37	0,04	0,00	0,00
<b>Mo</b>	0,92	-0,30	-0,22	0,01	0,04	0,05	-0,08
<b>Nb</b>	0,92	-0,37	0,03	0,03	-0,06	-0,14	0,01
<b>V</b>	0,30	0,89	-0,05	-0,13	-0,30	0,01	-0,01
<b>Zn</b>	0,68	0,25	0,69	-0,06	0,07	0,03	0,00

Os dois primeiros eixos fatoriais explicam cerca de 85% (tabela 4.11) e as percentagens de explicação para os 7 elementos apresentam valores elevados para o 1º plano fatorial (F1 – F2). O elemento Zn ostenta valores de contribuição muito semelhantes para o eixo 1 e 3 (tabela 4.12). Deste modo, optou-se por realizar uma análise contemplando os dois primeiros planos fatoriais (F1 – F2 e F1 – F3) com o intuito de verificar se há diferenças significativas para o elemento Zn.

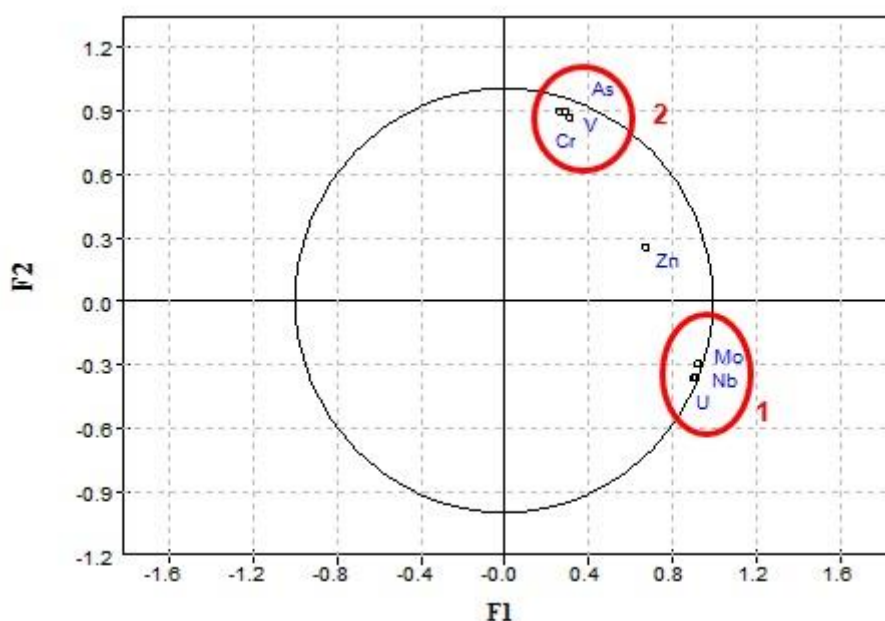


Figura 4.50- Projeção das variáveis no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.

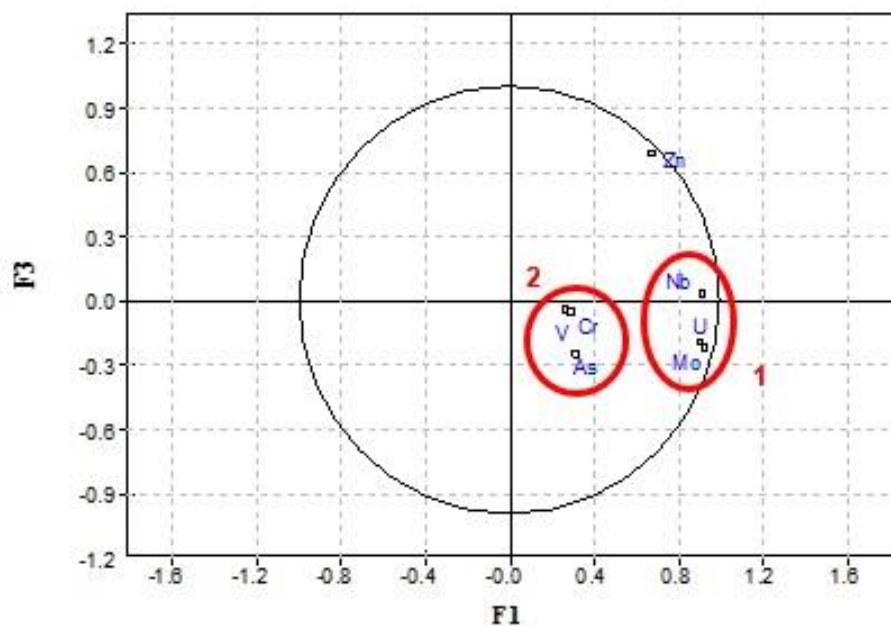


Figura 4.51- Projeção das variáveis no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e marcação dos grupos de variáveis que se relacionam com os eixos.

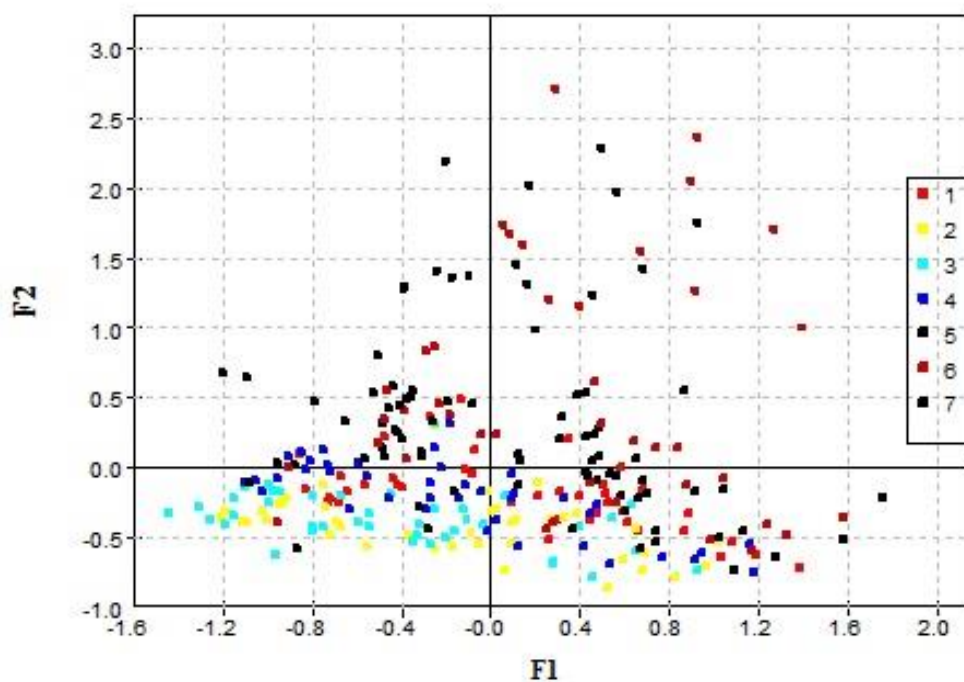


Figura 4.52- Projeção das observações no 1º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e separadas por classes granulométricas, CP1 e CP2.

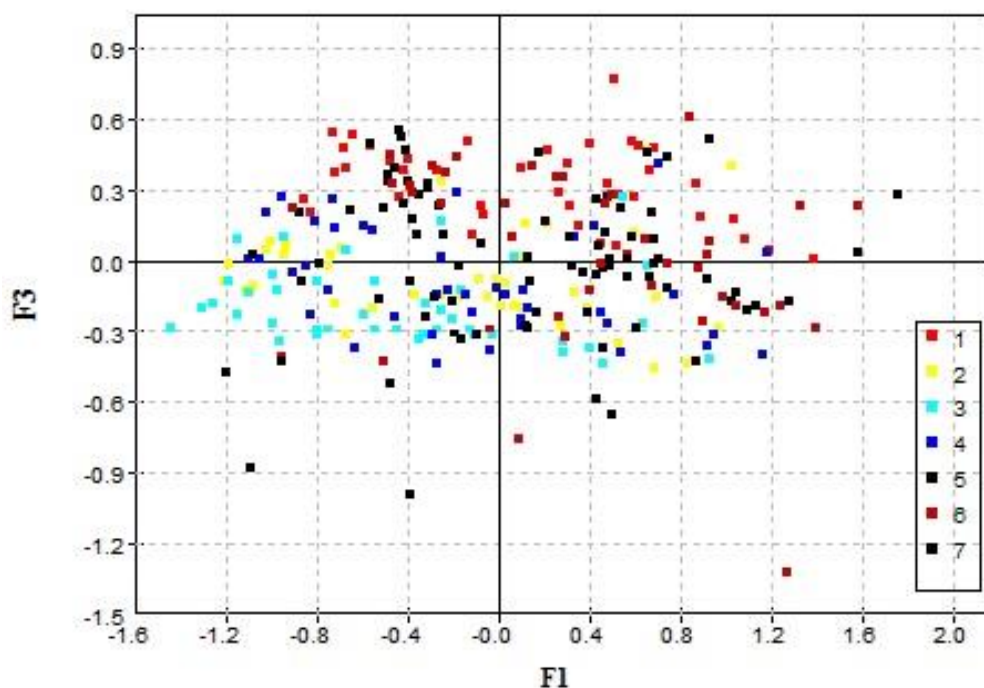


Figura 4.53- Projeção das observações no 2º plano fatorial da ACP sem amostra 27 e separadas por classe granulométrica, CP1 e CP2.

Com a separação por granulometrias podemos identificar dois aspetos (figura 4.50 e 4.51). O primeiro está relacionado com a formação dos grupos, onde mais uma vez esta análise indica a presença de dois grupos. O primeiro grupo constituído pelos elementos U, Mo e Nb, bem explicado no eixo 1, o segundo grupo constituído por os elementos As, Cr e V, bem explicado no eixo 2. O elemento Zn, com explicação repartida pelos eixos 1 e 3, apresenta-se afastado das restantes variáveis.

Através da análise da projeção das observações no 1º e 2º plano fatorial da ACP (figura 4.52 e 4.53) observa-se que os elementos As, Cr e V (grupo 2) exibem teores mais elevados para classes granulométricas superiores, 6 e 7. Este facto é verificável devido às frações 6 e 7 estarem bem relacionadas com o eixo 2, tal como o grupo 2 na figura 4.49. Nos restantes elementos não ocorre segregação de teores por classe granulométrica.

A ACP veio corroborar as análises uni e bivariadas, uma vez que mantém os grupos comportamentais de elementos. Deste modo, ficou formado o grupo 1 (com excelente correlação das variáveis entre si) que inclui os elementos U, Mo e Nb. Este grupo não apresenta segregação de teores por classe granulométrica mas ostenta teores superiores em sedimentos quando comparados com as amostras em solos. O grupo 2 (com boa a fraca correlação) incorpora os elementos As, Cr e V e apresenta teores superiores para as classes de maior granulometria (6 e 7) sendo que também é superior em sedimentos do que em solos. Por fim, o elemento Zn exibe um comportamento particular não apresentando correlação com nenhum outro elemento. Não exibe segregação de teores por classe granulométrica e apresenta valores superiores em sedimentos do que em solos.

#### 4.5 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS TEORES

De seguida, elaborou-se o estudo da variação de teores ao longo da ribeira (figura 4.54 – 4.58).

Os elementos U, Nb e Mo têm um comportamento muito semelhante. Deste modo foi possível agrupá-los e representar apenas numa figura (figura 4.54). Os valores foram dispostos numa escala que foi categorizada em valores baixos, intermédios, altos e muito altos (tabela 4.13).

Tabela 4.13- Categorização dos valores de teor em U, Mo e Nb.

Teores	U (ppm)	Mo (ppm)	Nb (ppm)
Baixos	$\leq 150$	$\leq 15$	$\leq 18$
Intermédios	150 - 250	15 - 25	18 - 28
Altos	250 - 350	25 - 50	28 - 40
Muito Altos	$> 350$	$> 50$	$> 40$

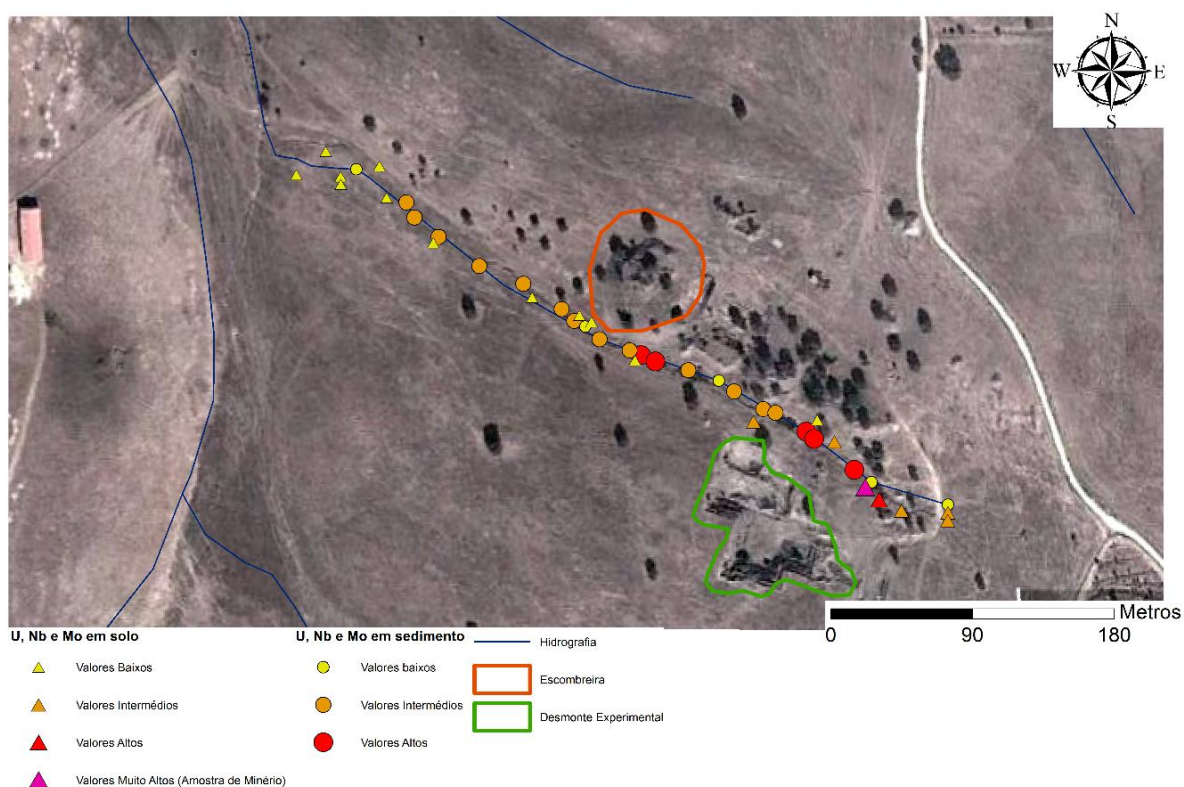


Figura 4.54- Classes de concentrações dos elementos U, Nb e Mo nas amostras recolhidas em solos e sedimentos na área de estudo.



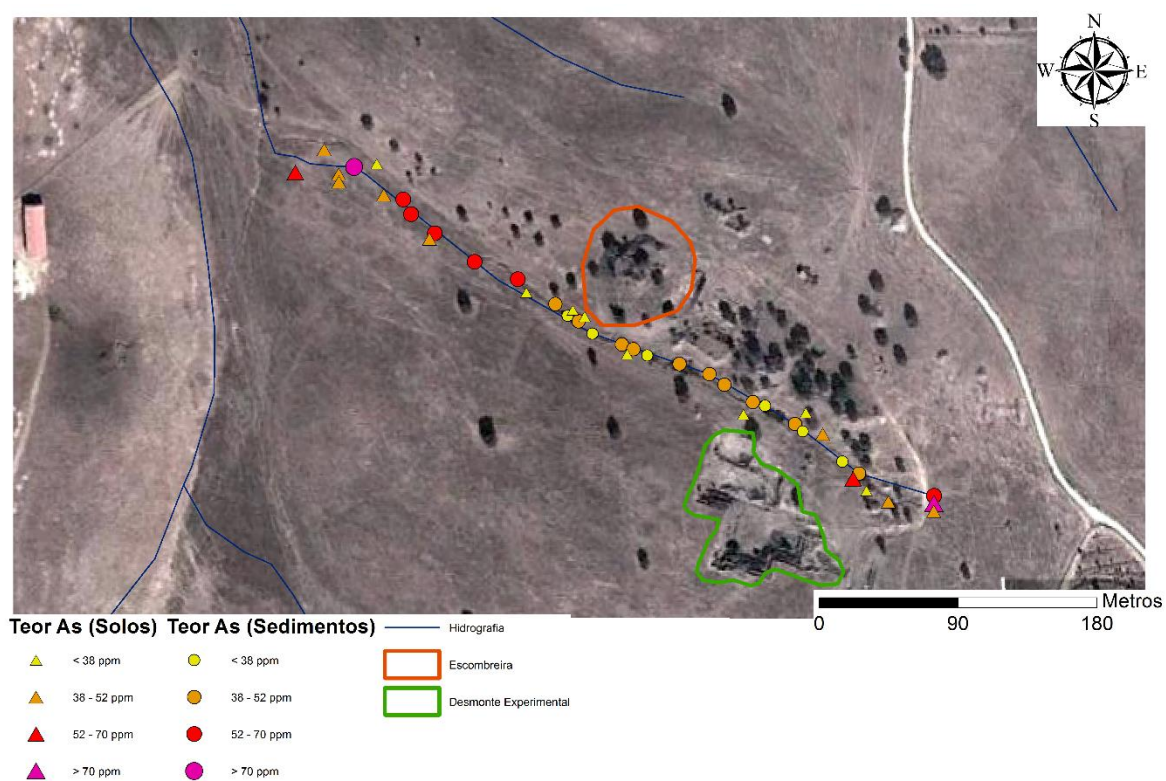


Figura 4.55- Concentração de teores no elemento As em 4 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.

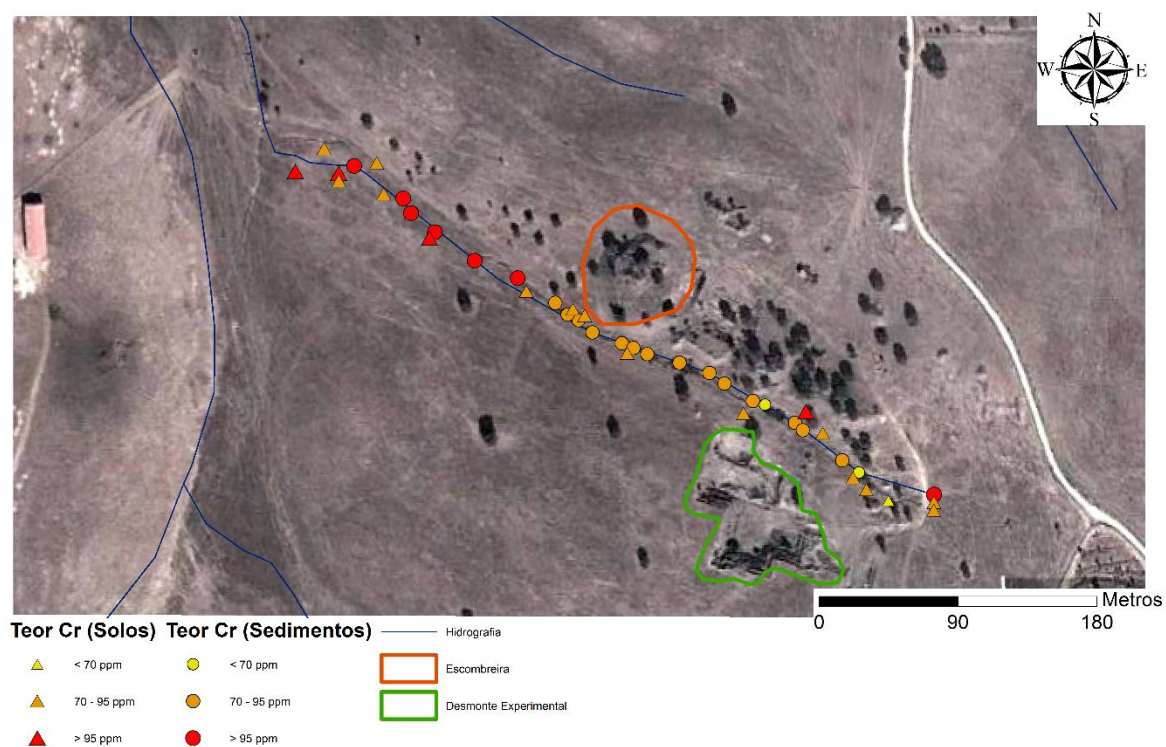


Figura 4.56- Concentração de teores no elemento Cr em 3 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.

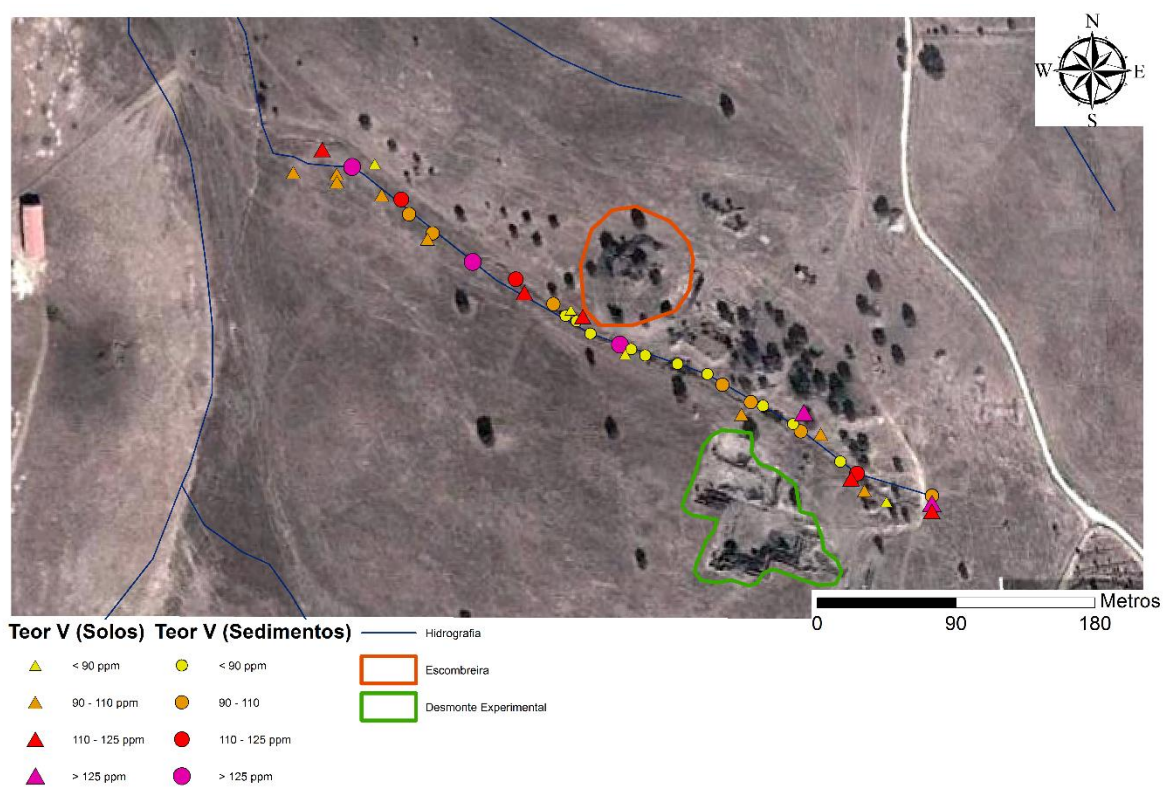


Figura 4.57- Concentração de teores no elemento V em 4 classes nas amostras de solos e sedimentos na área em estudo.

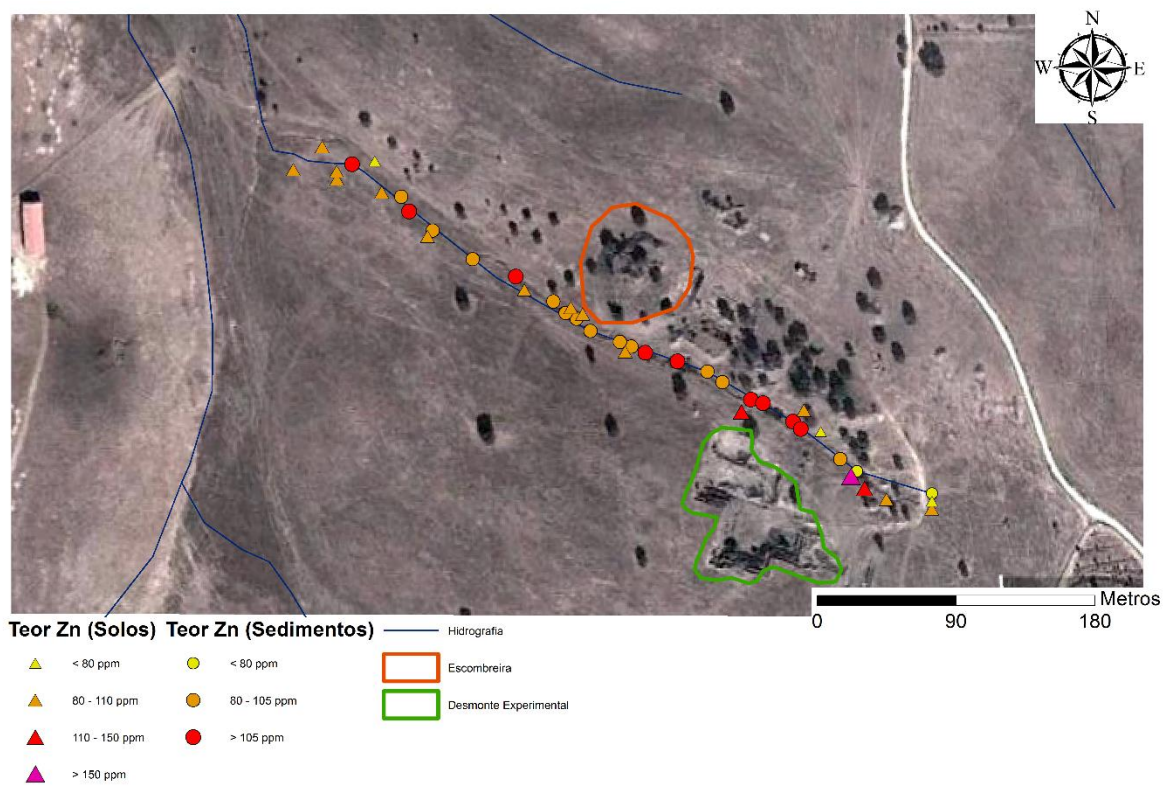


Figura 4.58- Concentração de teores no elemento Zn em 4 classes nas amostras de solos e 3 classes nas amostras de sedimentos na área em estudo.

Os elementos representados na figura 4.54 (U, Mo e Nb) apresentam uma concentração superior em sedimentos. Verifica-se que as concentrações diminuem com o aumento da distância à anomalia. O valor mais alto, como referido anteriormente, corresponde a uma amostra colhida junto de uma pilha de minério (amostra 27).

Relativamente ao elemento As (figura 4.55), é possível verificar que ao contrário dos elementos previamente referidos, a sua concentração aumenta com o aumento da distância à anomalia. Este facto pode ser justificado devido à enorme mobilidade que este elemento apresenta. Exibe teores mais elevados em sedimentos do que em solos.

O Cr (figura 4.56), tal como o As, apresenta valores de concentrações mais altos em amostras recolhidas a uma maior distância à anomalia. O V (figura 4.57) exibe um comportamento irregular, apresenta bastantes valores superiores a 125 ppm tanto em sedimentos como em solos.

Por último o Zn (figura 4.58) apresenta poucos valores abaixo dos 80 ppm e exibe o mesmo comportamento em solos e sedimentos. O valor superior a 150 ppm corresponde à amostra colhida junto à pilha de minério.

Após esta análise foram efetuados gráficos dos teores destes sete elementos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira, identificada nos gráficos seguintes como origem, contendo apenas os valores obtidos em amostras de sedimentos (figura 4.59 – 4.65).

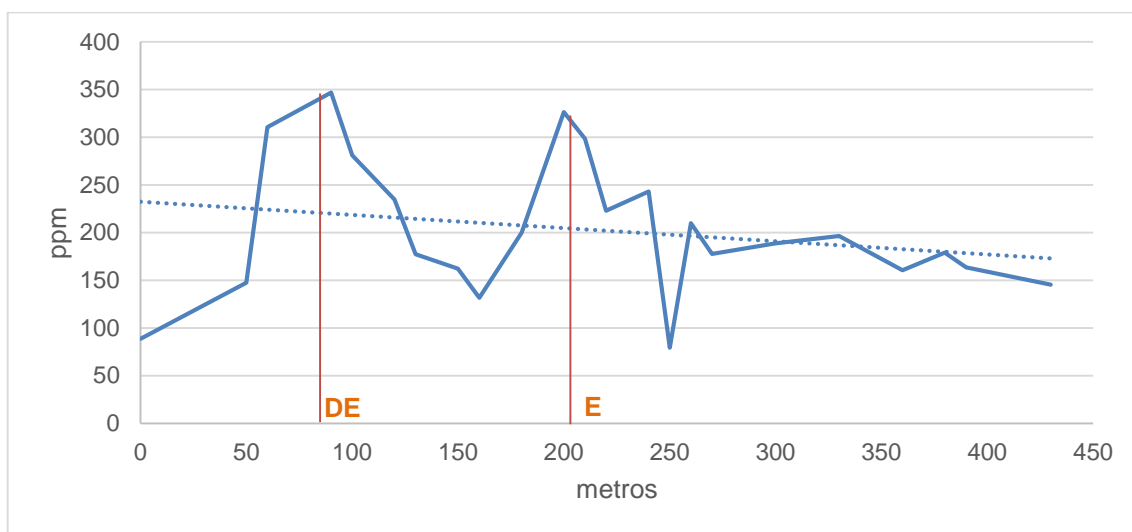


Figura 4.59- Representação dos teores em U medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira com identificação do local de desmonte experimental (DE) e escombreira (E).



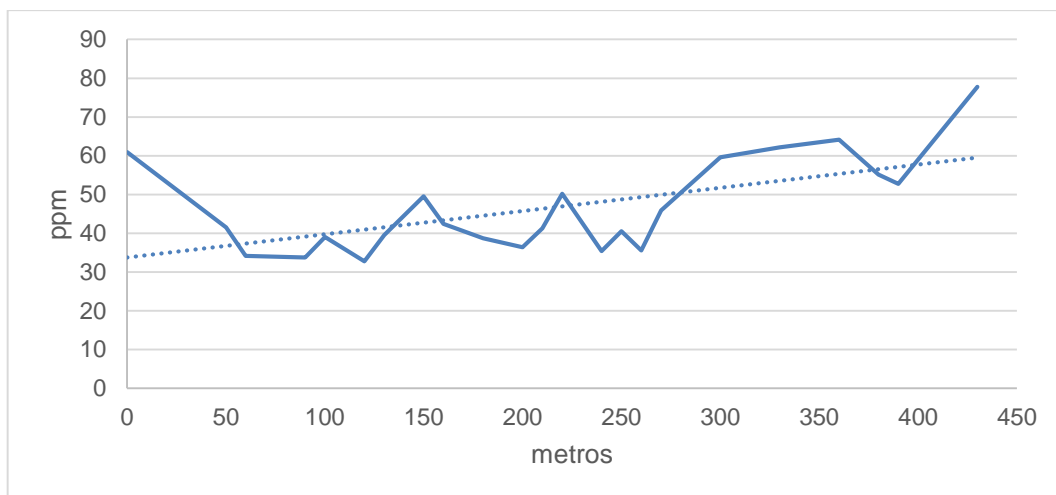


Figura 4.60- Representação dos teores em As medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.

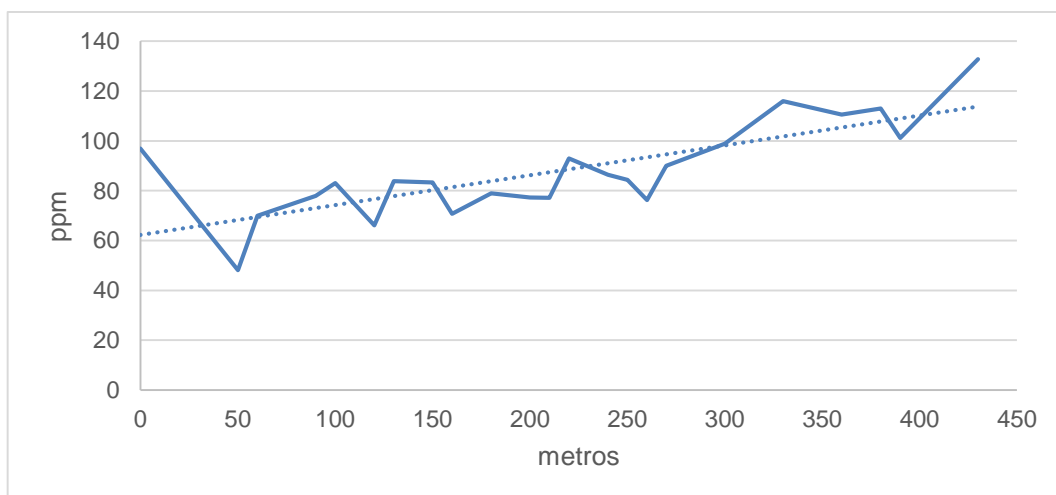


Figura 4.61- Representação dos teores em Cr medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.

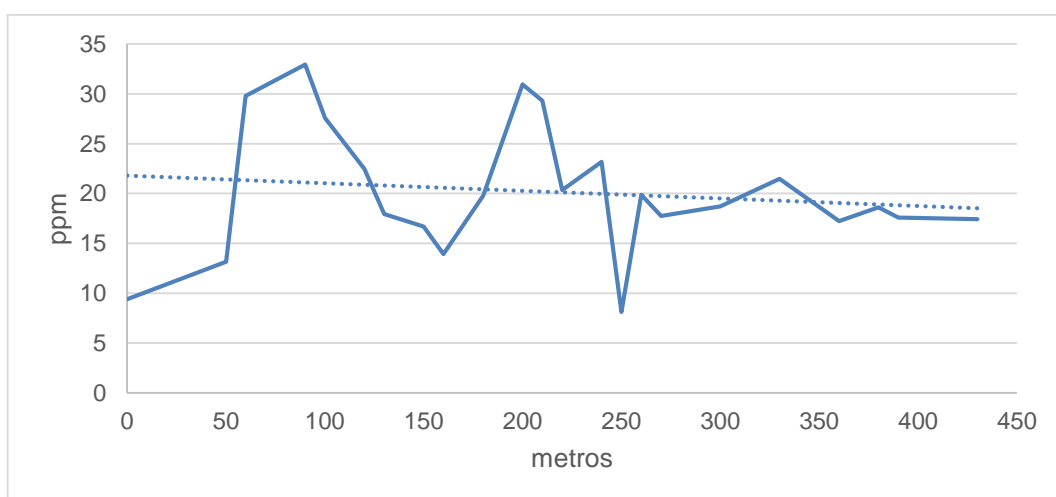


Figura 4.62- Representação dos teores em Mo medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.



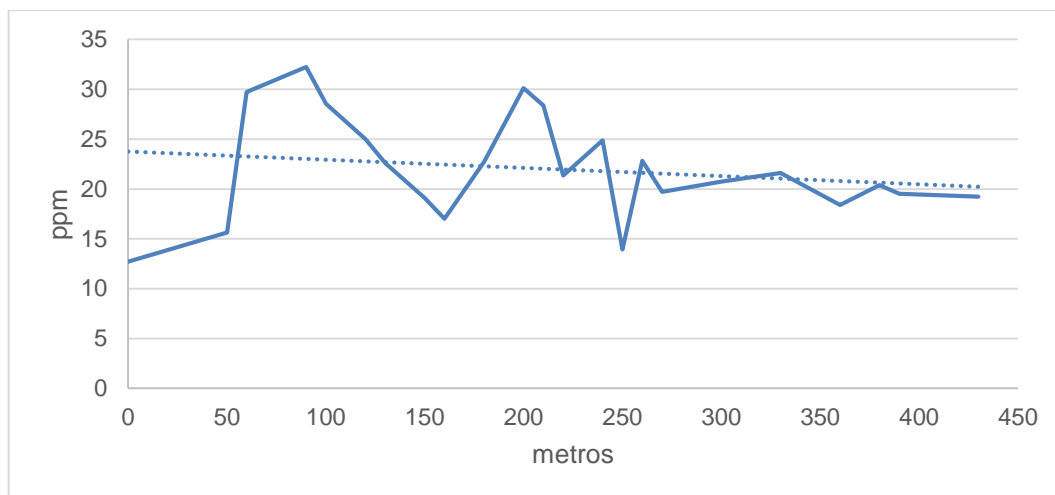


Figura 4.63- Representação dos teores em Nb medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.

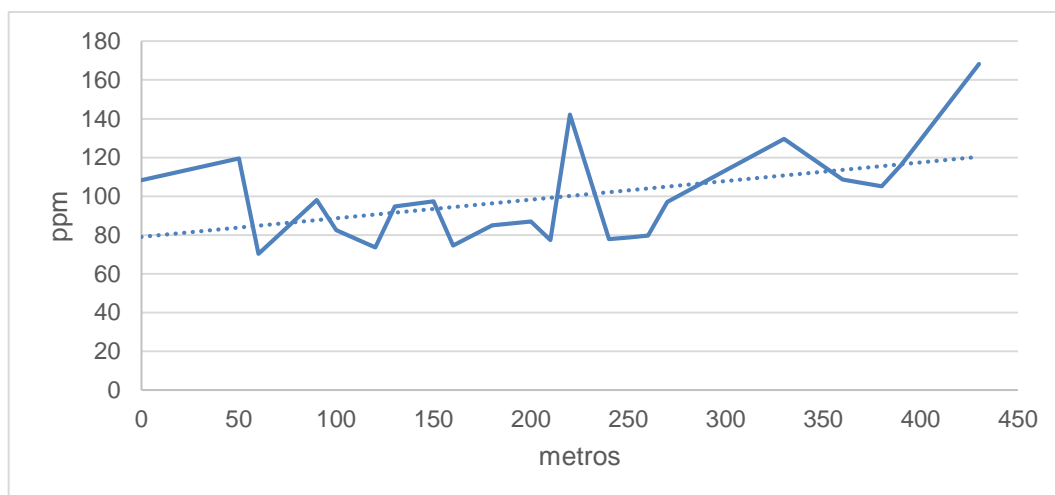


Figura 4.64- Representação dos teores em V medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.

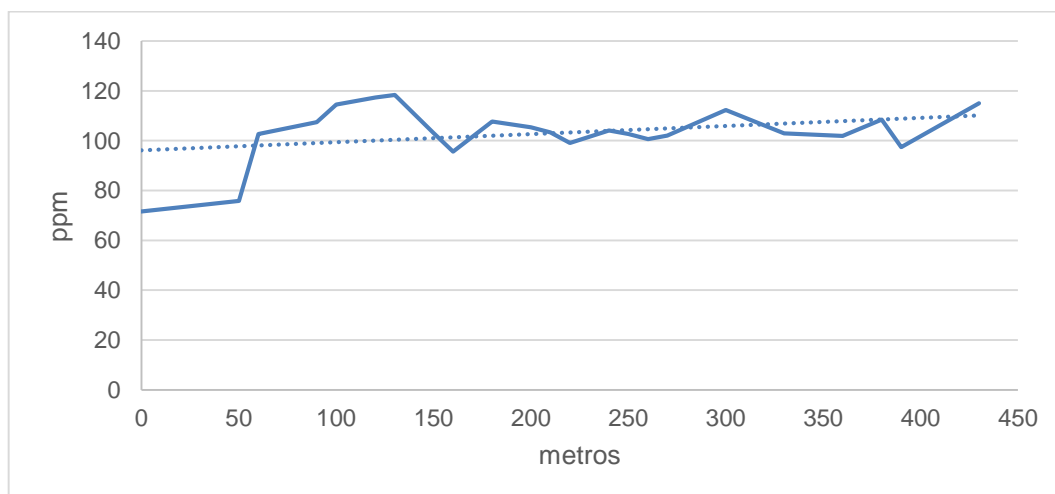


Figura 4.65- Representação dos teores em Zn medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira.

## CAPÍTULO 4

O gráfico referente aos teores do elemento U (figura 4.59) mostra que este elemento apresenta um comportamento variável com tendência a diminuir ao longo da ribeira. É verificável a presença de duas localizações onde as concentrações são mais altas. A primeira localização referenciada ocorre a pouco menos de 100 metros desde a origem e a segunda a 200 m sendo que a primeira está provavelmente associado a uma zona de desmonte experimental onde existe algumas pilhas de minério e a segunda à acumulação num ligeiro meandro junto à escombreira. O valor mais baixo de concentração em sedimento corresponde a 79,12 ppm, a 250 m, e o mais elevado a 346,87 ppm, a 90 m, do primeiro ponto medido.

Relativamente ao elemento As (figura 4.60), verifica-se que este aparece com concentrações bastante elevadas onde o valor mais baixo, 32,75 ppm, ocorre a 120 m e o valor mais alto, 77,77 ppm, ocorre precisamente na última amostra de sedimento colhida a 430 m da origem. Como já verificado, o teor em As aumenta com o aumento da distância à origem chegando a duplicar de valores.

O elemento Cr (figura 4.61) apresenta incrementos no seu teor com o aumento da distância, corroborando a análise anterior. Ocorrem pequenos picos nas concentrações associados à formação de um meandro. O valor mais baixo está localizado a 50 m e corresponde a 48,13 ppm. Por outro lado, o valor mais alto corresponde a 132,74 ppm, uma vez mais na última amostra de sedimento recolhida a 430 m.

O elemento Mo (figura 4.62) ostenta um comportamento semelhante ao elemento U. Ocorrem dois picos na concentração, um a cerca de 100m e outro a 200 m, tal como o elemento U. Como já referido, o primeiro corresponde à zona do desmonte experimental e o segundo a uma zona de meandro próxima da escombreira. O valor mais baixo ocorre a 250 m com 8,10 ppm e o mais alto a 90 m com 32,93 ppm. Verifica-se que o valor mais baixo ocorre na mesma amostra onde o elemento U é mais baixo e o valor mais alto, onde o elemento U é mais elevado.

O elemento Nb (figura 4.63) apresenta um comportamento bastante semelhante aos elementos U e Mo. Apresenta, igualmente, dois picos de concentração nos mesmos locais que os elementos anteriores. Relativamente ao valor mais baixo, este ocorre na primeira amostra de sedimento recolhida na origem, 0 m, com uma concentração em Nb de 12,71 ppm. O valor mais alto ocorre, tal como o U e Mo, a 90 m com o teor de 32,24 ppm.

O gráfico do elemento V (figura 4.64) permite concluir o que anteriormente não tinha sido possível. Isto é, na figura que representa a concentração em V das amostras recolhidas (figura 4.57) não era possível padronizar o comportamento deste elemento. No entanto através do gráfico da representação dos teores em V medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira (figura 4.64) é possível verificar um ligeiro aumento com a distância à origem. O valor mais baixo ocorre a 60 m com um teor de 70,3 ppm e o mais alto a 430 m com um teor de 168,17 ppm. O valor mais alto pode estar associado à formação de um meandro no respetivo local.

Por fim, o gráfico do elemento Zn (figura 4.65) permitiu corroborar a figura que representa a concentração de teores no elemento Zn na área em estudo (figura 4.58). Ou seja, verifica-se que os teores em Zn são os mais constantes ao longo da linha de água. O valor mais baixo ocorre no primeiro

sedimento amostrado (na origem) com 71,58 ppm de Zn e o mais alto a 130 m com um teor de 118,35 ppm.

Esta análise espacial corrobora as anteriores uma vez que os grupos anteriormente formados mantêm o seu comportamento ao longo da linha de água, o que é esperado. No grupo 1 (U, Mo e Nb) verifica-se uma diminuição ao longo da ribeira apresentando dois locais onde as suas concentrações são significativamente maiores (junto ao desmorte experimental e escombreira). As suas figuras referentes à representação dos teores medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira apresentam o mesmo comportamento, apenas varia a escala de teor em que os três elementos ocorrem.

O grupo 2 (As, Cr e V) ostenta um comportamento onde as suas concentrações aumentam com o aumento da distância ao início da ribeira. Os seus gráficos da representação dos teores medidos nos sedimentos em função da distância à amostra recolhida mais a montante da ribeira apresentam também um comportamento semelhante, sendo que o V apresenta maiores diferenças (figura 4.60, 4.61 e 4.64).

O elemento Zn, como verificado anteriormente apresenta um comportamento particular e mais constante ao longo da ribeira.

#### **4.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA ENVOLVENTE À ANOMALIA NATURAL COM OS VALORES DE REFERÊNCIA PRESENTES NA NORMA DE ONTÁRIO 2011**

Atendendo a que não existe legislação nacional específica em matéria de avaliação da contaminação de solos e sedimentos, para este estudo foi utilizado como critério de referência de qualidade a norma de Ontário (estabelecida pelo Ministério do Ambiente de Ontário, Canadá), tal como sugere a Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

Para os elementos estudados neste trabalho, foram analisados os valores de referência (*standard*) apresentados na norma de Ontário e comparados com os valores das médias obtidas *in situ*, tanto para solos como para sedimentos (tabela 4.14). Na norma de Ontário os valores em solos são divididos consoante o seu uso: uso para agricultura e uso residencial /industrial/ comercial.

Como é de esperar, na Norma de Ontário os valores *standard* de solo para uso residencial/ industrial e comercial podem apresentar concentrações nos elementos um pouco superiores do que para o uso agrícola. Relativamente às concentrações em sedimentos, verifica-se que os valores *standard* são bastante inferiores quando comparados com os valores que os solos podem apresentar.

Todos os elementos, à exceção do Nb que não está definido e o Zn, apresentam concentrações bastante superiores na área em estudo quando comparados com os valores da Norma Canadiana.

Tabela 4.14- Condições de *background* local *standard* (norma Ontário) versus valores obtidos na área de estudo.

Valores <i>standard</i> norma de Ontário 2011				Valores na área de estudo	
	Solo (ppm)		Sedimento (ppm)	Solo (ppm)	Sedimento (ppm)
Contaminante	Uso para agricultura	Uso residencial/ industrial/ comercial	Todos os tipos de uso	Média dos valores sem a amostra em minério (27)	
Arsénio	11	18	6	44,15	42,75
Crómio	67	70	26	87,00	85,98
Molibdénio	2	2	NV	16,45	18,61
Nióbio	NV	NV	NV	19,71	21,35
Urânio	1.9	2.5	NV	160,79	185,92
Vanádio	86	86	NV	101,54	100,13
Zinco	290	290	120	100,27	104,51

Nota: NV- Nenhum valor definido

O elemento U é o que exhibe maior diferença entre os valores da norma com os obtidos *in situ* o que é expectável uma vez que a área em estudo se localiza numa zona com minérios de urânio; o As e o Mo apresentam também valores bastante elevados comparativamente aos valores da norma; o Zn é o único elemento que não apresenta concentrações acima dos valores *standard* na norma Canadiana.

É possível então constatar que à exceção do Zn e Nb, os restantes elementos exibem valores bastante mais elevados *in situ* comparativamente aos tabelados.

Apesar de não existir contaminação antrópica, esta área apresenta concentrações naturais muito elevadas em determinados metais que podem ser nocivos para a saúde pública se forem inalados ou ingeridos. Os valores *standard* da norma Canadiana são obtidos por estudos médicos e de efeito para a saúde humana, por isso têm pouco a ver com os valores de *background* naturalmente elevados de locais com mineralizações. Desta forma, não se deve pensar que por exceder os valores *standard* se devem remediar ou descontaminar estes locais mas deve se considerar o seu uso condicionado nos planos de ordenamento do território.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente dissertação foram caracterizados os sedimentos e solos de 470 m de uma ribeira que intersecta uma anomalia em urânio e que alimenta uma barragem de enrocamento local de forma a permitir o conhecimento do transporte hidrogravítico de alguns elementos e a sua concentração ao longo da ribeira. Foram recolhidas 42 amostras, e medidas a radiação gama por cintilometria e os teores por fluorescência de raios X.

Relativamente à radiação gama, foram verificadas diferenças entre as medições *in situ* e em laboratório, chegando a ser 13 vezes superior *in situ*. Esta diferença é justificada devido à radioatividade de fundo junto à anomalia (*background*). Com o afastamento à área mineralizada, verifica-se uma ligeira aproximação dos valores medidos *in situ* com os medidos em laboratório. Este acontecimento é explicado pela redução do efeito da anomalia local no *background*. Foram também analisadas as correlações entre as radiações gama, *in situ* e em laboratório, com o teor em urânio através do coeficiente de *Pearson* onde foi possível verificar que estes parâmetros apresentam uma correlação muito boa (cerca de 0,76).

Os teores foram medidos por fluorescência de raios X tendo-se selecionado para análise de dados os elementos U, As, Cr, Mo, Nb, V e Zn por exibirem concentrações superiores ao expectável. A diversidade de elementos, tanto máficos como de origem sedimentar (exemplo do Cr, V e Mo) ou ainda félsicos (exemplo do U e Nb) é justificada pela ocorrência de uma auréola de metamorfismo resultante do contacto entre o granito (formação félsica) com uma formação primariamente sedimentar e que veio originar os metassedimentos do Complexo Xisto-Grauváquico que ocorrem na área. Foram analisadas por XRF as frações iguais e inferiores a 2 mm.

O Cr e Zn constituem elementos vestigiais na crosta terrestre que não apresentam ligação direta com jazigos de urânio. No entanto, juntamente com o Mo, Nb e V, correspondem a elementos muito típicos de rochas sedimentares. Deste modo, é justificada a sua abundância pois são elementos característicos do maciço, típicos de assinatura geoquímica.

O elemento As é vestigial na crosta terrestre mas ocorre nesta área em concentrações anómalas. Este facto é natural uma vez que este elemento é usado como *pathfinder* na prospeção de urânio. Tem diversos minerais hospedeiros, nomeadamente feldspatos e pirite, que se encontram na paragénese deste jazigo. Os teores elevados deste elemento são consequência natural do processo e história geológica a que a área esteve sujeita. Este elemento está associado a depósitos de urânio do tipo U-(Co)-V-As-Mo que é o caso do jazigo de Nisa.

Foram calculados estatísticos básicos para estes elementos que permitiram identificar as medidas de posição central, de dispersão e assimetria. Verificou-se, que o elemento U é o que apresenta maiores concentrações. Por outro lado, os elementos Mo e Nb exibem os teores mais baixos. Todos os elementos apresentam assimetria positiva (comprovada pelos histogramas dos diferentes elementos e pelo valor do coeficiente de *Skewness*), sendo que o Cr é o elemento com distribuição mais simétrica.

## CAPÍTULO 5

Quanto maior a assimetria, maior será o efeito de dispersão geoquímica (em problemas de contaminação de solos e na deteção/ definição de localização de anomalias). Deste modo, os elementos com maior assimetria são característicos da anomalia geoquímica natural e excelentes indicadores da sua presença.

Para além da análise estatística de assimetria com a totalidade das amostras recolhidas, optou-se por realizar uma segunda análise eliminando a amostra colhida junto à pilha de minério (amostra 27) pois constituía um *outlier* expressivo e era necessário averiguar se estaria a provocar enviesamento de resultados de forma a posteriormente se reconhecer, selecionar e estabelecer valores de referência efetivamente aplicáveis aos solos e sedimentos em questão. Foi possível comprovar que para os elementos U, Mo, Nb e Zn esta amostra constituía um *outlier* e que a sua eliminação tornou as distribuições mais simétricas, diminuindo bastante o coeficiente de *Skewness*. Por outro lado, os elementos As, Cr e V não expuseram grandes modificações comportamentais com a eliminação da amostra. Este facto indica que a amostra 27 não constituía um *outlier* para estes elementos funcionando, sim, como *outlier* da mineralização (fração de minério, mais concretamente), que neste caso, é rica em urânio.

Seguidamente, foi estudado para cada elemento a sua concentração por frações granulométricas através da análise de *box-plots* (com e sem a amostra 27). A comparação entre os *box-plots* permitiu corroborar o referido anteriormente. Os elementos As, Cr e V não apresentam alterações, pois esta amostra não constitui um *outlier* para estes elementos. Já os *box-plots* dos elementos U, Mo, Nb e Zn exibem variações a nível de escala quando retirada a amostra.

Com a observação dos *box-plots* foi também possível formar dois grupos: os que não apresentam segregação por classe granulométrica e os que apresentam teores mais elevados nas granulometrias mais grosseiras. O primeiro grupo, em que não se verifica segregação, é constituído pelos elementos U, Mo, Nb e Zn, que serão típicos da anomalia regional e que, portanto, ocorrem abundantemente nos solos e sedimentos locais incorporando toda a matriz lítica local. O segundo, com segregação nas granulometrias mais grosseiras, é composto pelos elementos As, Cr e V. Este resultado mostra contradição com o que é comumente referido por vários autores quanto ao processo de transporte reativo de contaminantes em sedimentos, como o caso de IAEA (2003), onde se sugere que as frações mais finas (< 0.2 mm) apresentam maior concentração de contaminantes.

Uma possível explicação para estes acontecimentos é a presença de formas oxidáveis muito características destes elementos,  $As^{+3}$ ,  $Cr^{+6}$  e  $V^{+5}$ . Esta é a forma em que estes elementos tendem a (re)precipitar na natureza em condições oxidantes, ou seja, são lixiviados, transportados e (re)precipitam sob a forma de minerais secundários, sendo que poderá haver efeitos de adsorção/precipitação mais facilitados pelas superfícies de frações mais grosseiras. Outra explicação poderá residir no facto da ribeira ter funcionamento de regime torrencial, o que significa que apresenta forte capacidade de transporte de elementos das frações mais grosseiras as quais, geralmente, incorporam elementos geoquímicos típicos da matriz lítica local, entretanto sujeita a erosão e desmantelamento. Neste caso, as concentrações destes elementos em frações mais grosseiras presentes a maiores distâncias poderão estar simplesmente a refletir uma maior capacidade de

transporte físico com arraste de fração lítica original a maiores distâncias e consequente aumento de concentrações de certos elementos que se encontram incorporados na matriz dos fragmentos que são transportados.

Após o cálculo dos estatísticos básicos univariados elaborou-se a análise bivariada para conhecer as correlações entre os elementos. Primeiramente com a totalidade das amostras e depois com a exclusão da amostra 27. A análise com a totalidade das amostras indicou que os elementos As, Cr e V exibiam boa correlação entre si com um coeficiente de *Spearman* superior ao de *Pearson* indicando que existe uma relação de grandeza das variáveis mas não linear, ou então alguns pontos *outliers* podem estar a degradar a correlação.

Para os elementos U, Mo e Nb a análise bivariada determinou a existência de uma excelente correlação destes elementos entre si e muito boa correlação com o Zn. No entanto, os coeficientes de *Pearson* para este grupo de variáveis são superiores ao de *Spearman*. Este facto indica que alguns pares de valores anómalos podem estar a construir uma correlação artificial entre as variáveis que globalmente não têm correlação provocando um enviesamento de resultados. Deste modo procedeu-se a uma nova análise bivariada sem a amostra 27.

As correlações dos elementos As, Cr e V, como esperado, mantiveram-se semelhantes pois esta amostra não constitui um *outlier* para estes elementos. Para o conjunto de elementos U, Mo, Nb e Zn houve algumas alterações nas correlações. As correlações entre os elementos U, Mo e Nb não foram alteradas mas as correlações destes elementos com o Zn diminuíram substancialmente. Esta situação indica que de facto, a amostra 27 estaria a construir uma correlação artificial do elemento Zn com o U, Mo e Nb.

Seguidamente realizaram-se três corridas ACP que permitiram corroborar as análises anteriores em termos da existência de 2 grupos comportamentais. Por um lado temos um grupo (grupo 1) formado por os elementos U, Mo e Nb com excelente correlação, não apresentando segregação de teores por classe granulométricas mas com teores tendencialmente superiores em sedimentos do que em solos. Por outro lado, existe o grupo 2 (As, Cr e V) com boa a fraca correlação exibindo teores superiores em classes granulométricas mais grosseiras. Relativamente à diferença de teores em solos e sedimentos, verifica-se que estes elementos ostentam teores superiores em sedimentos.

O elemento Zn exibe um comportamento singular não apresentando correlação com nenhum outro elemento. Tal como o grupo 1 não apresenta segregação de teores por classe granulométrica e ostenta valores superiores em sedimentos comparativamente aos valores em solos.

Após o estudo das concentrações ao longo da linha de água é possível concluir o que anteriormente vinha a ser estudado. Os elementos do grupo 1 (U, Mo e Nb) para além do descrito anteriormente exibem uma diminuição ao longo da ribeira. Verifica-se a existência de alguns picos de concentrações que ocorrem no mesmo local para os três elementos. Estes picos, como anteriormente referido, correspondem a uma zona próxima do desmonte experimental e a um meandro, próximo da escombreira.

O grupo 2 (As, Cr e V) ostenta um comportamento distinto do grupo 1, ou seja as suas concentrações aumentam com o aumento da distância ao início da ribeira. Isto ocorre devido à enorme mobilidade que alguns destes elementos apresentam em ambientes oxidantes, nomeadamente o As. Este grupo é caracterizado também por ostentar valores superiores em granulometrias mais grosseiras, como já referido. Uma explicação possível para este acontecimento será que nas frações mais finas, estes elementos irão ser transportados a maiores distâncias. Deste modo, teremos formas geoquímicas secundárias quando próximo das fontes nas frações mais grosseiras e as mesmas formas geoquímicas secundárias quando mais afastadas das fontes em frações mais finas. No entanto, esta possível explicação só poderá ser comprovada com amostragens mais a jusante do local estudado.

O elemento Zn, como referido anteriormente, apresenta um comportamento particular, representando o elemento com concentrações mais constantes ao longo da ribeira. Ao analisar a norma de Ontário verifica-se que é o único elemento que apresenta valores dentro da norma.

Os restantes elementos ostentam valores de concentrações que excedem a norma o que indica que esta área, tal como está (não considerando na análise dos valores de referência a existência da anomalia geoquímica), não apresenta potencial para qualquer aproveitamento tanto para agricultura como para uso residencial, industrial e comercial.

O estudo realizado neste trabalho permite constatar que esta área apresenta concentrações naturais muito elevadas em determinados metais, excedendo mesmo os valores *standard* da norma Canadiana. Deste modo, neste local os valores da norma Canadiana não devem servir para proceder a medidas de remediação ou descontaminação do local, apenas devem ser utilizados para condicionar o uso do local a algumas atividades e incluir esta informação nos planos de ordenamento regional (REN). No entanto, a perigosidade destes metais não depende apenas dos teores que apresenta. A sua solubilidade, biodisponibilidade e estado de ocorrência em termos geoquímicos e mineralógicos também se deve ter em consideração na avaliação da perigosidade do local.

Assim, na sequência deste estudo é de considerar uma nova campanha de amostragem de solos e sedimentos mais a jusante da área já estudada. Esta nova campanha deve incluir sedimentos de acumulação preferencial dos efeitos de transporte na área da barragem pois durante a estação das chuvas, os sedimentos mais finos serão arrastados para jusante, representando uma possível contribuição significativa para a carga de metais na barragem. Propõe-se a realização de identificação petrográfica e mineralógica associada à realização de ensaios de extração sequencial e de especiação iónica que permitam averiguar o quimismo e as formas de ocorrência em termos geoquímicos dos minerais que compõem os materiais líticos a estudar. Igualmente, a realização de análises de espectrometria alfa para a determinação dos radionuclídeos da família do urânio (e tório) e determinação das relações de equilíbrio, neste caso particular, da série de decaimento do Urânio-238, poderão constituir um importante contributo para o melhor entendimento de distintos tipos de fenómenos a que a anomalia em causa e os solos e sedimentos da envolvente poderão estar sujeitos. É também proposto um estudo da qualidade da água da barragem, uma vez que esta é utilizada como consumo para gado.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albanese S, De Vivo B, Lima A, Cicchella D (2007). Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 93(1), 21–34.
- Alves de Campos A (2002). Impactes Radiológicos Associados a Depósitos Minerais de Urânio: O caso do jazigo de Nisa (Nisa- Portugal Central). Tese de Mestrado (UC - Faculdade de Ciências e Tecnologia).
- Alves de Campos A, Pereira A, Neves, L (2003). Distribuição do radão na área do jazigo de urânio de Nisa, (IV Congresso Ibérico de Geoquímica e XIII Semana de Geoquímica, Coimbra).
- Barbosa S (2014). Situação de referência sobre a geoquímica dos solos portugueses Casos de anomalias naturais locais e regionais. Workshop “Solos Contaminados. Legislação e Métodos de Diagnóstico e Investigação.” LNEC, Lisboa.
- Barnett V, Lewis T (1994). *Outliers in statistical data*. 3rd edition. New York: Wiley & Sons.
- Barthel F, Thoste V, Borsdorf K H (1991). The distribution of radionuclides in the upper soil horizons in Lower Saxony, Saxony and Thuringia, Germany.
- Batista M J, Demetriades A, Pirc S, De Vos W, Bidovec M, Martins L (2005). Factor Analysis Interpretation of European Soil , Stream and Floodplain Sediment Data. *Geochemical Atlas of Europe*.
- Beckhoff B (2006). *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. (Springer, Ed.).
- Carey W C, Keller M D (1957). Systematic changes in the beds of alluvial rivers: *Am. Soci. of Civil Engineers Proc.*, v. 83, HY 4, Paper 1331., 1957.
- Carvalho C, Rodrigues J, etodiev D (2009). Inventário do património geológico do concelho de Vila Velha de Rodão: contributo para a caracterização do geopark Naturtejo, 1–53.
- Catrapona A, Lourenço C, Midões C, Oliveira D, Carvalho J, Falé P (2009). Contributo para a Revisão do PDM de Nisa – Geologia e Recursos Geológicos. INETI.
- Colley S, Thomson J (1990). Nuclear science and technology: Migration of uranium daughter radionuclides in natural sediments. *Comission of the European Communities*.
- Cuney M (2010). *Géochronique* n°113, 14-47

## CAPÍTULO 6

- Cuney M, Kyser K (2008). Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration. Short Course Series Volume 39.
- Cunha P, Martins A, Daveau S, Friend P (2005). Tectonic control of the Tejo river fluvial incision during the late Cenozoic, in Ródão - Central Portugal (Atlantic Iberian border). *Geomorphology*, 64, 271–298.
- Cunha P, Pais J, Legoinha P (2009). Evolução geológica de Portugal continental durante o Cenozóico – sedimentação aluvial e marinha numa margem continental passiva ( Ibéria ocidental ). 6º Simposio Sobre El Margen Ibérico Atlántico.
- Dawood Y H (2010). Factors controlling uranium and thorium isotopic composition of the streambed sediments of the River Nile, Egypt. *Journal of King Abdulaziz University, Earth Sciences*, 21(2), 77–103.
- Duarte M L, Bento dos Santos, T (2010). A nova Carta Geológica de Portugal à escala 1:1.000.000 e a importância da cotografia geológica de base.
- El-Makky A M, Sediek K N (2012). Stream sediments geochemical exploration in the northwestern part of Wadi Allaqi Area, South Eastern Desert, Egypt. *Nat. Resour. Res.* 21, 95 – 115.
- Farai I, Isinkaye M (2009). Radiological safety assessment of surface-water dam sediments used as building material in southwestern Nigeria. *Journal of Radiological Protection : Official Journal of the Society for Radiological Protection*, 29(1), 85–93.
- Fernandes P (1979). Alto Alentejo Uranium District: Field excursion. Technical committee meeting on the geology of vein and similar type uranium deposits, Direcção Geral de Geologia e Minas.
- Ferreira N, Iglesias M, Noronha F, Pereira E, Ribeiro A, Ribeiro M L (1987). Granitóides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico, *Geologia de Los Granitoides y Rocas del Macizo Hesperico*. Universidade de Salamanca, Editorial Rieda.
- Figueiredo M O, Silva T P, Batista M J, Leote J, Ferreira M L, Limpo V (2011). Uranium in surface soils: An easy-and-quick assay combining X-ray diffraction and X-ray fluorescence qualitative data. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1-3), 134–138.
- Fletcher W K (1997). Stream sediment geochemistry in today's exploration world. *Exploration 97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration*, 249–260.
- Garrett R (1991). The management, analysis and display of exploration geochemical data. *Exploration geochemistry workshop*. Ottawa: Geological Survey of Canada, 2390.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gonçalves C (1957). Radioactive reconnaissance with car equipment. JEN. Direcção Geral dos Serviços de Prospeção e Exploração Mineira.
- Gonçalves C (1969). Plano de Prospeção eléctrica. JEN. Direcção Geral dos Serviços de Prospeção e Exploração Mineira.
- Gonçalves C (1971). Jazigo de urânio de Nisa - zona A. Cálculo das reservas, precisão da estimativa. contorno superficial da exploração. JEN. Direcção Geral dos Serviços de Prospeção e Exploração Mineira. Serviços de documentação e estudos.
- Hatcher L (1994). Principal Component Analysis. A step-by-step approach to using the SAS System for factor analysis and structural equation modeling, 1–56.
- Hawkes H, Webb J (1962). Geochemistry in mineral exploration 1962. New York: Harper.
- Hoekstra H R (1971). The chemistry of uranium, including its applications in nuclear technology. Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry, 33(1), 287.
- IAEA (2003). Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. Atomic Energy, (July), 1–130.
- IAEA (2009). World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO) with Uranium Deposit Classification. IAEA TECDOC-1629.
- Isaaks E H, Srivastava R (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- JEN (1977). Present facts and problems concerning the Nisa mining complex Project. Direcção Geral dos Serviços de Prospeção e Exploração Mineira.
- Julivert M, Fontboté J, Ribeiro A, Conde L (1974). Memória explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Escala 1/1000000. Madrid: Inst. Geol. Min. España.
- Lancianese V, Dinelli, E (2015). Different spatial methods in regional geochemical mapping at high density sampling: An application on stream sediment of Romagna Apennines, Northern Italy. Journal of Geochemical Exploration, 154, 143–155.
- Levinson A A (1974). Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, USA, 614.
- Levinson A A (1980). Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd., Wilmette, Illinois, U.S.A., 924.

## CAPÍTULO 6

- Lima A, Albanese S, Cicchella D (2005). Geochemical baselines for the radioelements K, U, and Th in the Campania region, Italy: A comparison of stream-sediment geochemistry and gamma-ray surveys. *Applied Geochemistry*, 20, 611–625.
- Limpo de Faria F (1965). Relatório de execução do plano de sondagens, nº28 Nisa, Zona A. JEN. Direcção Geral dos Serviços de Prospekção e Exploração Mineira.
- Limpo de Faria F, Pinto de Mesquita L (1962). Jazigos de urânio da região de Nisa -Castelo de Vide (Alto Alentejo). Comunicação Apresentada Ao XXVI Congresso Luso-Espanhol Para O Progresso Das Ciências, 122– 138.
- Lusty P A J, Scheib C, Gunn A G, Walker S D (2012). Reconnaissance-scale prospectivity analysis for gold mineralisation in the Southern Uplands-Down-Longford Terrane, Northern Ireland. *Nat. Resour. Res.* 21, 359 – 382.
- Martins E, Catela M, Alexandre M, Jorge N, Cabaceira S (2010). Revisão do plano director municipal de Nisa - Caracterização do território municipal.
- Matschullat J, Ottenstein R, Reimann C (2000). Geochemical background - Can we calculate it? *Environmental Geology*, 39(9), 990–1000.
- Menéndez L G (1998). Petrologia y geoquímica del batolito granítico de Nisa- Albuquerque (Alto Alentejo, Portugal; Extremadura, España).
- Moura A, Velho J (2011). Recursos geológicos de Portugal. Coimbra: Palimage.
- Naseem S, Sheikh S A (1994). Lithogeochemical prospecting through stream sediments in Bela Ophiolite of Lasbela area, 7(1963), 125–142.
- National Engineering Handbook (2007). Guidelines for sampling bed material, Technical (August).
- Pais M (2011). Avaliação da vulnerabilidade do sistema aquífero da captação da Fadagosa de Nisa ( Concelho de Nisa). Tese de Mestrado (Intituto Politécnico de Castelo Branco).
- Pazand K, Hezarkhani A, Ataei M, Ghanbari Y (2011). Application of multifractal modeling technique in systematic geochemical stream sediment survey to identify copper anomalies: A case study from Ahar, Azarbaijan, Northwest Iran. *Chemie Der Erde - Geochemistry*, 71(4), 397–402.
- Pinto de Mesquita L (1960). Relatório de execução dos planos de sanjas, nº209 Nisa e nº210 Maria Dias. JEN. Direcção Geral dos Serviços de Prospekção e Exploração Mineira. 6ª Brigada de prospekção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Plant J, Smith D, Smith B, Williams L (2001). Environmental geochemistry at the global scale. *Applied Geochemistry* 16, 1291 – 1308.
- Porteous A (1996). *Dictionary of Environmental Science and Technology*. 2nd edition. Chichester, New York: John Wiley & Sons.
- Portugal M, Ferreira V (1971). Jazigos uraníferos portugueses, Jazigos de Au-Ag-Sulfuretos do norte de Portugal. Lisboa: Direção-Geral de Minas e Serviços Geológicos.
- Prazeres C M (2011). Caracterização geoquímica radiométrica e mineralógica de algumas mineralizações de urânio da região de Nisa . Tese de Mestrado (UL- Faculdade de Ciências).
- Rantitsch G (2000). Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 71, 73 – 82.
- Reimann C, Filzmoser, P., & Garrett, R. G. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of The Total Environment*, 346(1-3), 1–16.
- Reimann C, Garrett R G (2005). Geochemical background—concept and reality. *Science of The Total Environment*, 350(1-3), 12–27.
- Ribeiro O, Teixeira C, Carvalho H, Peres A, Fernandes A P (1965). Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000 Folha 28-B (Nisa). Lisboa: Serv. Geol. Portugal.
- Rose A W, Hawkes, H E, Webb J S (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, London, 657.
- Siegbahn K (1968). Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy, Vol. 1. North- Holland Publishing Company.
- Simons D B, Richardson E V (1959). U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1498A.
- Solá A R (2007). Relações petroquímicas dos Maciços Graníticos do NE Alentejano. Tese de Doutoramento (UC - Faculdade de Ciências e Tecnologia).
- Spadoni M (2006). Geochemical mapping using a geomorphologic approach based on catchments. *J. Geochem. Explor.* 90, 183 – 196.
- Spadoni M, Voltaggio M, Cavaretta G (2005). Recognition of areas of anomalous concentration of potentially hazardous elements by means of a subcatchment-based discriminant analysis of stream sediments. *J. Geochem. Explor.* 87, 83 – 91.

## CAPÍTULO 6

Yilmaz H, Sonmez F N, Carranza E J M (2015). Discovery of Au–Ag mineralization by stream sediment and soil geochemical exploration in metamorphic terrain in western Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 158, 55–7